# BEZZAŁOGOWE PLATFORMY

## W SŁUŻBACH MUNDUROWYCH I TRANSPORCIE

REDAKCJA NAUKOWA
DARIUSZ BOGUSZ, JULIA SKÓRA

Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

LOTNICZA AKADEMIA WOJSKOWA
DĘBLIN 2026

# BEZZAŁOGOWE PLATFORMY

## W SŁUŻBACH MUNDUROWYCH I TRANSPORCIE

REDAKCJA NAUKOWA
DARIUSZ BOGUSZ, JULIA SKÓRA

# BEZZAŁOGOWE PLATFORMY

## W SŁUŻBACH MUNDUROWYCH I TRANSPORCIE

REDAKCJA NAUKOWA
DARIUSZ BOGUSZ, JULIA SKÓRA

Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

LOTNICZA AKADEMIA WOJSKOWA
DĘBLIN 2026

Lotnicza Akademia Wojskowa

**Bezzałogowe platformy w służbach mundurowych i transporcie**

Redakcja naukowa
Dariusz Bogusz, Julia Skóra

Recenzenci
prof. dr hab. inż. Zbigniew Ciekanowski
prof. dr hab. inż. Leszek Elak

Redaktor prowadzący
Emilia Ryczkowska

Redakcja językowa
Katarzyna Marzęda

Layout, redakcja techniczna
Bartosz Charachajczuk

Projekt okładki i strony tytułowej
Monika Gąszczyk-Pieklik

Realizacja projektu w ramach programu „Doskonała Nauka II"
pt.: Konferencja „Bezzałogowe Platformy w Służbach Mundurowych i Transporcie",
nr umowy KONF/SP/0173/2024/02 z dnia 9.12.2024 r.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Doskonała Nauka II

© *Copyright by* Wydawnictwo Lotniczej Akademii Wojskowej

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Kopiowanie, przedrukowanie i rozpowszechnianie całości lub fragmentów niniejszej pracy bez zgody wydawcy zabronione.

*Printed in Poland*

Dęblin 2026 r.

ISBN 978-83-68629-10-1
DOI 10.55676/68629-10-1

LAW wydawnictwo

Druk i oprawa: Wydawnictwo Lotniczej Akademii Wojskowej
Arkuszy wydawniczych: 8,37

## Spis treści


Wstęp 7

Marek Ciekanowski, Sławomir Żurawski
Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w zarządzaniu kryzysowym 11

Dariusz Bogusz
Taksówki powietrzne – nowe możliwości w transporcie pasażerskim 25

Julia Skóra
Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w zawodach nowoczesnej gospodarki 39

Daniel Michalski
Zagrożenia wynikające z użycia bezzałogowych statków powietrznych wobec ludności cywilnej i infrastruktury 57

Katarzyna Kostur-Balcerzak, Tomasz Balcerzak
Bezzałogowe statki powietrzne w konflikcie zbrojnym w Ukrainie: wyzwania prawne i technologiczne dla ochrony infrastruktury krytycznej 81

Krzysztof Ogonowski, Mateusz Ogonowski
Zintegrowany system bezpieczeństwa portów lotniczych oparty na rojach dronów i satelitach wyposażonych w sztuczną inteligencję 97

Małgorzata Żmigrodzka, Katarzyna Kostur-Balcerzak
Roje bezzałogowych statków powietrznych w przyszłych działaniach wojennych 113

Marek Kustra
Bezpieczeństwo lotów BSP w polskiej przestrzeni powietrznej 125

Jarosław Paszyn
Vertiport – niezbędny element transportu UAM/AAM w przestrzeni *smart city* i jego wpływ na kapitał społeczno-gospodarczy aglomeracji 135

Karol Rogożyński
Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w inspekcji pola manewrowego lotniska i drogi startowej – możliwości, wyzwania i perspektywy rozwoju 151

Bartosz Jurek
Drony w służbie Polskiego Związku Łowieckiego 171

Zakończenie 183

## Wstęp

Dynamiczny i nieustanny rozwój technologii bezzałogowych stanowi jeden z najbardziej wyrazistych, a także istotnych przejawów transformacji współczesnych systemów technicznych, organizacyjnych i społecznych, będących konsekwencją postępu cyfryzacji, automatyzacji oraz integracji zaawansowanych rozwiązań informatycznych z klasycznymi strukturami operacyjnymi.

W istocie bezzałogowe statki powietrzne jeszcze do niedawna postrzegane były głównie w płaszczyźnie zastosowań militarnych[1]. Ich rozwój pozostawał przez długi czas domeną sił zbrojnych i przemysłu obronnego, gdzie potrzeba uzyskania przewagi informacyjnej i operacyjnej stanowiła główny impuls dla intensywnych prac badawczo-rozwojowych.

Najwcześniejsze idee konstrukcji statków powietrznych bez załogi sięgają starożytności. Już około V w. p.n.e. Archytas z Tarentu podejmował próby tworzenia mechanicznych urządzeń zdolnych do lotu bez udziału człowieka[2]. Przypisywany mu projekt mechanicznego gołębia, napędzanego energią sprężonego powietrza, uznawany jest za jedno z pierwszych znanych w historii rozwiązań o charakterze bezzałogowym. Według dostępnych źródeł konstrukcja ta mogła pokonać dystans sięgający kilkuset metrów, zanim wyczerpane zostało źródło energii. Zbliżone koncepcje mechanicznych obiektów latających pojawiały się również w starożytnych Chinach, gdzie już w IV w. p.n.e. eksperymentowano z urządzeniami wykorzystującymi zasady aerodynamiki.

Za najstarszy udokumentowany przykład zdalnie sterowanego obiektu latającego uznaje się konstrukcje wykorzystywane w starożytnych Chinach ponad dwa tysiące lat temu. Miały one formę latawców kontrolowanych przez operatora z poziomu ziemi za pomocą systemu linek, co pozwalało na kierowanie ich ruchem w przestrzeni. Tego typu rozwiązania, choć prymitywne w porównaniu ze współczesnymi systemami, mogą być traktowane jako pierwowzór koncepcji zdalnie pilotowanego statku powietrznego (RPV – *Remotely Piloted Vehicle*)[3].

Historia rozwoju lotnictwa bezzałogowego bywa niejednokrotnie interpretowana jako wtórna wobec dziejów lotnictwa załogowego.

---

[1] J. Bąk, R. Konieczka, *Perspektywa zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w transporcie medycznym*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 2022, nr 83, s. 175.

[2] K.P. Valavanis, M. Kontitsis, *A Historical Perspective on Unmanned Aerial Vehicles*, [w:] *Advances in Unmanned Aerial Vehicles. State of the Art and the Road to Autonomy*, red. K.P. Valavanis, The Netherlands 2007, s. 35.

[3] R.M. Clark, *Uninhabited Combat Aerial Vehicles: Airpower by the People, for the People, But Not with the People, School of Advanced Airpower Studies*, Maxwell Air Force Base, Alabama 1999, s. 9.

W rzeczywistości jej korzenie sięgają bardzo wczesnego etapu ewolucji techniki lotniczej.

Idee zastosowania statków powietrznych pozbawionych pilota pojawiły się równolegle z pierwszymi próbami opanowania przestrzeni powietrznej i stanowiły odpowiedź na dążenie do ograniczenia ryzyka dla człowieka oraz zwiększenia skuteczności oddziaływania z powietrza. W początkowym okresie rozwoju XX w. koncepcje te pozostawały jednak na dalszym planie, ustępując miejsca dynamicznie rozwijającemu się lotnictwu załogowemu, które szybciej znajdowało praktyczne zastosowanie i zaplecze technologiczne[4].

Kluczowym impulsem umożliwiającym rozwój konstrukcji bezzałogowych stały się w szczególności odkrycia w zakresie urządzeń żyroskopowych i łączności radiowej. Dzięki tym osiągnięciom zaczęto postrzegać możliwość realizacji lotu bez bezpośredniej kontroli pilota jako realne rozwiązanie techniczne wspomagające wiele procesów.

Już na wczesnym etapie wyraźnie zarysowały się dwa zasadnicze kierunki rozwoju konstrukcji bezzałogowych. Pierwszy z nich obejmował projekty statków powietrznych przeznaczonych do rażenia celów przeciwnika, określanych wówczas mianem latających bomb lub torped powietrznych. Drugi kierunek rozwoju dotyczył konstrukcji wykorzystywanych jako zdalnie sterowane cele latające, służące szkoleniu obrony przeciwlotniczej i doskonaleniu procedur zwalczania zagrożeń z powietrza.

To właśnie z tych dwóch nurtów wywodzą się współczesne bezzałogowe statki powietrzne, zarówno w ich militarnych, jak i cywilnych zastosowaniach. Intensyfikacja prac nad tego typu systemami miała miejsce jeszcze przed II wojną światową, przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii oraz Niemczech, gdzie rozwój technologiczny i potrzeby militarne sprzyjały eksperymentom z nowymi formami operowania w przestrzeni powietrznej. Doświadczenia zdobyte w tym okresie stworzyły podstawy dla późniejszego, dynamicznego rozwoju lotnictwa bezzałogowego w drugiej połowie XX w.[5]

W kontekście niniejszej monografii należy rozpatrzeć nazwę „dron", wywodzącą się z języka angielskiego i odnoszącą się do trutnia lub charakterystycznego brzęczenia. Określenie to zostało po raz pierwszy wykorzystane w latach 30. XX w. i funkcjonowało w kontekście prac nad zdalnie sterowanymi statkami powietrznymi powstałymi na bazie samolotów de Havilland Tiger Moth, adaptowanych do lotów bezzałogowych.

---

[4] P. Polkowski, *Bezzałogowe statki powietrzne*, „Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego" 2016, t. 10, nr 1, s. 238.

[5] W. Leśnikowski, *Drony. Bezzałogowe aparaty latające od starożytności do współczesności*, Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń 2016, s. 40–69; P. Polkowski, *Bezzałogowe*..., dz. cyt., s. 238.

Mniema się, że nazwa ta stanowiła humorystyczne nawiązanie do wcześniejszego określenia tych konstrukcji „Queen Bee", używanego wobec załogowych wersji szkolnych. Wraz z upływem czasu zaczęła funkcjonować jako potoczne, a następnie powszechnie przyjęte określenie bezzałogowych statków powietrznych[6].

W ostatnich latach obserwuje się wyraźne przesunięcie akcentów w kierunku szerokiego wykorzystania technologii bezzałogowych w obszarze nie tylko wojskowym, ale także cywilnym. Systemy te stały się istotnym elementem funkcjonowania wielu sektorów życia publicznego, w tym bezpieczeństwa wewnętrznego, zarządzania kryzysowego, ochrony infrastruktury krytycznej, transportu oraz nowoczesnej gospodarki. Zmiana ta nie ma charakteru jedynie ilościowego, ale również jakościowe, gdyż bezzałogowe platformy przestają być narzędziami pomocniczymi, a coraz częściej pełnią rolę kluczowych komponentów systemów operacyjnych, wpływając na sposób realizacji zadań, podejmowania decyzji oraz koordynacji działań na różnych szczeblach zarządzania.

Szczególne znaczenie technologii bezzałogowych obserwuje się w obszarze służb mundurowych, gdzie stanowią one narzędzie istotnie zwiększające skuteczność działań operacyjnych, rozpoznawczych i ratowniczych[7]. Ich zastosowanie pozwala na rozszerzenie zdolności obserwacyjnych, skrócenie czasu reakcji oraz prowadzenie działań w środowiskach niebezpiecznych lub trudno dostępnych, przy jednoczesnym ograniczeniu ryzyka ponoszonego przez personel. Bezzałogowe platformy wspierają zarówno działania rutynowe, jak i operacje prowadzone w sytuacjach nadzwyczajnych, stając się ważnym elementem systemów bezpieczeństwa publicznego i zarządzania kryzysowego.

Równolegle intensywny rozwój technologii bezzałogowych znajduje swoje odzwierciedlenie w sektorze transportu, obejmując zarówno obszar logistyki, jak i koncepcje miejskiej mobilności powietrznej. Rozwiązania te wpisują się w globalne trendy poszukiwania bardziej efektywnych, elastycznych i zrównoważonych form przemieszczania osób i towarów, odpowiadających na wyzwania związane z urbanizacją, przeciążeniem infrastruktury komunikacyjnej oraz presją środowiskową. W perspektywie najbliższych lat technologie bezzałogowe mogą w istotny sposób wpłynąć na strukturę i organizację systemów transportowych, stając się jednym z kluczowych czynników kształtujących przyszłość mobilności.

---

[6] R. Kopeć, O. Wasiuta, T. Wójtowicz, *Wojna dronów. Militarne wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych*, Wydawnictwo Naukowe UP, Kraków 2021, s. 30.

[7] R. Parczewski, M. Wojtaszek, *Wybrane aspekty stosowania statków powietrznych w systemie bezpieczeństwa*, „Kultura Bezpieczeństwa" 2021, nr 40, s. 11.

Odpowiedzią na potrzebę pogłębionej refleksji nad rolą i przyszłością technologii bezzałogowych była Konferencja Naukowa „Bezzałogowe Platformy w Służbach Mundurowych i Transporcie", która odbyła się w dniach 22–24 października 2025 r. w Dęblinie. Wydarzenie zostało zorganizowane przez Lotniczą Akademię Wojskową we współpracy z Wojskową Akademią Techniczną, Akademią Pożarniczą, 41 Bazą Lotnictwa Szkolnego oraz Polskim Klubem Lotniczym. Konferencja stworzyła przestrzeń do merytorycznej debaty oraz wymiany doświadczeń pomiędzy środowiskiem akademickim a użytkownikami systemów bezzałogowych.

Tematyka konferencji obejmowała szerokie spektrum zagadnień, w tym m.in.: zastosowanie bezzałogowych platform w zarządzaniu kryzysowym i działaniach ratowniczych, wykorzystanie BSP w ochronie infrastruktury krytycznej, wyzwania prawne i regulacyjne związane z eksploatacją systemów bezzałogowych, rozwój miejskiej mobilności powietrznej, a także społeczne uwarunkowania wdrażania nowych technologii. Interdyscyplinarny charakter obrad pozwolił na wielowymiarowe i szczegółowe ujęcie problematyki oraz identyfikację zarówno szans, jak i ograniczeń oraz obszarów ryzyka dla dalszego, perspektywicznego rozwoju technologii bezzałogowych.

Niniejsza monografia stanowi zbiór opracowań naukowych odzwierciedlających aktualny stan badań nad bezzałogowymi platformami oraz różnorodność podejść badawczych i aplikacyjnych. Autorzy podejmują analizę zagadnień związanych zarówno z wykorzystaniem BSP w służbach mundurowych i zarządzaniu kryzysowym, jak i z ich rosnącą rolą w gospodarce cywilnej oraz transporcie przyszłości.

Publikacja ma na celu nie tylko podsumowanie dorobku konferencji, lecz również stworzenie punktu odniesienia dla dalszych badań i dyskusji nad rolą bezzałogowych platform w systemach bezpieczeństwa, transporcie i nowoczesnej gospodarce. Monografia adresowana jest do środowiska naukowego, praktyków, decydentów oraz wszystkich osób zainteresowanych nowoczesnymi technologiami i ich wpływem na bezpieczeństwo oraz funkcjonowanie współczesnego państwa i społeczeństwa.

**płk dr hab. Dariusz Bogusz, prof. LAW**
**mgr Julia Skóra**

**dr Marek Ciekanowski**
Akademia Bialska im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ORCID: 0009-0009-1271-0652
**dr Sławomir Żurawski**
Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie
ORCID: 0000-0001-9527-3391

# Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w zarządzaniu kryzysowym

## The use of unmanned aerial vehicles in crisis management

**Streszczenie**
Celem badania było określenie roli i skuteczności bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w zarządzaniu kryzysowym oraz ich wpływu na efektywność działań ratowniczych i monitorujących. Główne pytanie badawcze brzmiało: W jaki sposób BSP mogą zwiększyć skuteczność zarządzania kryzysowego oraz minimalizować zagrożenia dla ratowników i ludności cywilnej? Postawiona hipoteza zakładała, że wdrożenie BSP do systemu zarządzania kryzysowego znacząco poprawia szybkość reakcji na zagrożenia, zwiększa efektywność działań operacyjnych oraz minimalizuje ryzyko dla służb ratowniczych. Badanie opierało się na metodach teoretycznych, takich jak analiza literatury przedmiotu, przegląd regulacji prawnych oraz studium przypadków dotyczących zastosowania BSP w różnych scenariuszach kryzysowych. Metody empiryczne obejmowały analizę danych operacyjnych, przegląd raportów oraz konsultacje z ekspertami ds. zarządzania kryzysowego i technologii bezzałogowych. Pierwsza część opracowania przedstawia ogólne znaczenie BSP w zarządzaniu kryzysowym i ich kluczowe zastosowania. Druga część koncentruje się na wyzwaniach i ograniczeniach, w tym aspektach technologicznych, operacyjnych i prawnych. Trzecia część opisuje przyszłe kierunki rozwoju BSP i ich potencjał w dalszej integracji z systemami ratowniczymi oraz innymi technologiami wspierającymi. Wnioski z badania wskazują, że BSP odgrywają coraz większą rolę w zarządzaniu kryzysowym, a ich dalszy rozwój i implementacja mogą przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa publicznego oraz efektywności działań ratowniczych. Wdrożenie standardów operacyjnych, rozwój technologii zasilania oraz integracja z systemami sztucznej inteligencji są kluczowe dla pełnego wykorzystania potencjału BSP w sytuacjach kryzysowych.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe statki powietrzne (BSP), zarządzanie kryzysowe, infrastruktura krytyczna, działania ratownicze, nowe technologie

**Abstract**
The aim of the study was to determine the role and effectiveness of unmanned aerial vehicles (UAVs) in crisis management and their impact on the effectiveness of rescue and monitoring operations. The main research question was: How can UAVs increase the effectiveness of crisis management and minimize threats to first responders and civilians? The hypothesis assumed that the implementation of UAVs into the crisis management system significantly improves the speed of response to threats, increases the efficiency of operational activities and minimizes the risk to emergency services. The study was based on theoretical methods, such as literature analysis, regulatory review and case studies on the use of UAVs in various crisis scenarios. Empirical methods included operational data analysis, report review, and consultation with experts in crisis management and unmanned technologies. The first part of the study presents the general importance of UAVs in crisis management and their key applications. The second part focuses on challenges and constraints, including technological, operational and legal aspects. The third part describes the future directions of UAV development and their potential for further integration with rescue systems and other supporting technologies. The conclusions of the study indicate that UAVs play an increasingly important role in crisis management, and their further development and implementation can contribute to increasing public safety and the effectiveness of rescue operations. The implementation of operational standards, the development of power supply technology and integration with artificial intelligence systems are key to the full potential of UAVs in crisis situations.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles (UAVs), crisis management, critical infrastructure, rescue operations, new technologies

## Wprowadzenie

Współczesne zarządzanie kryzysowe wymaga szybkiego i precyzyjnego reagowania na sytuacje nadzwyczajne, takie jak klęski żywiołowe, katastrofy technologiczne czy zagrożenia bezpieczeństwa publicznego. W tym kontekście coraz większe znaczenie zyskują bezzałogowe statki powietrzne (BSP), potocznie nazywane dronami. Dzięki swoim unikalnym cechom, takim jak mobilność, autonomia i możliwość operowania w trudnych warunkach, BSP stanowią niezwykle cenne narzędzie w działaniach ratowniczych i zarządzaniu kryzysowym.

Dynamiczny rozwój technologii dronowych w ostatnich latach pozwolił na ich szerokie zastosowanie w różnych aspektach zarządzania kryzysowego. BSP mogą być wykorzystywane do monitorowania obszarów dotkniętych katastrofami, poszukiwania zaginionych osób, oceny skali zniszczeń, a także dostarczania zaopatrzenia w trudno dostępne miejsca.

Ich rola w tego typu operacjach nie tylko zwiększa efektywność działań ratowniczych, ale także minimalizuje ryzyko dla personelu operacyjnego.

W niniejszym artykule przedstawiono zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w zarządzaniu kryzysowym, ze szczególnym uwzględnieniem ich funkcjonalności, zalet oraz ograniczeń. Analiza obejmie również przykłady praktycznego wykorzystania BSP w sytuacjach kryzysowych oraz perspektywy dalszego rozwoju tej technologii.

## Ocena i monitorowanie sytuacji kryzysowych

Na przełomie wieków w siłach zbrojnych wielu państw świata miała miejsce rewolucja technologiczna związana z powszechnym wdrażaniem systemów BSP – początkowo rozpoznawczych, później także bojowych – nie pozostała niezauważona także w Polsce. Systemy BSP wprowadzono do Sił Zbrojnych RP w pierwszej dekadzie XXI w. Bezzałogowe statki powietrzne są nieodzownym elementem każdego rodzaju Sił Zbrojnych RP[1] oraz odgrywają kluczową rolę w nowoczesnym zarządzaniu kryzysowym, umożliwiając szybkie zbieranie i analizowanie danych w sytuacjach nadzwyczajnych. Ich wszechstronność pozwala na zastosowanie w różnych rodzajach kryzysów, takich jak klęski żywiołowe, katastrofy technologiczne, wypadki przemysłowe czy działania poszukiwawczo-ratownicze.

Jednym z podstawowych zastosowań BSP jest monitorowanie i ocena sytuacji kryzysowych. Wyposażone w kamery wysokiej rozdzielczości, czujniki termiczne i technologie obrazowania multispektralnego BSP pozwalają na szybkie i dokładne określenie rozmiarów katastrofy oraz identyfikację zagrożeń[2]. W sytuacjach zagrożeń naturalnych, takich jak powodzie, trzęsienia ziemi czy pożary, drony są wykorzystywane do mapowania obszarów dotkniętych katastrofą, co pozwala na lepsze planowanie akcji ratowniczych oraz ocenę skutków kataklizmu. Dzięki wykorzystaniu kamer termowizyjnych oraz technologii multispektralnych możliwe jest szybkie wykrycie zagrożeń niewidocznych dla ludzkiego oka, takich jak ukryte pożary, osuwiska czy wycieki niebezpiecznych substancji.

BSP odgrywają także istotną rolę w monitorowaniu infrastruktury krytycznej podczas sytuacji awaryjnych. Dzięki zdolności do precyzyjnej inspekcji mostów, tam, linii energetycznych i innych strategicznych obiektów, drony mogą szybko identyfikować uszkodzenia i wspierać służby odpowiedzialne za naprawy oraz odbudowę. Należy również zaznaczyć,

[1] D. Bogusz, *Polish Air Force*, Warszawa 2024, s. 50; tenże, *Flight training of military pilots in Poland*, Warszawa 2025, s. 85.

[2] O. Bushnaq i in., *Unmanned aerial vehicles (UAVs) for disaster management*, [w:] A. Denizli i in., *Nanotechnology-Based Smart Remote Sensing Networks for Disaster Prevention*, Elsevier 2022, s. 166.

iż samo urządzenie w zetknięciu z innym uczestnikiem ruchu, samolotem czy samochodem stanowi poważne zagrożenie dla lotnisk, autostrad czy innych składników infrastruktury krytycznej[3].

W przypadku zagrożeń biologicznych lub chemicznych BSP są wyposażone w specjalistyczne czujniki pozwalające na detekcję skażenia powietrza, wody i gleby. Takie zastosowanie jest kluczowe w przypadku awarii przemysłowych czy ataków biologicznych, gdzie szybka analiza i reakcja mają kluczowe znaczenie dla ochrony zdrowia publicznego. Dlatego BSP są stosowane przez niektóre służby oraz instytucje państwowe w Polsce do zadań związanych z ochroną środowiska[4]. Jak wynika z wcześniejszych rozważań, wykorzystanie dronów umożliwia wykonywanie obserwacji nawet trudnodostępnych terenów w sposób elastyczny i w bardzo krótkim czasie, zapewniając szybko dostępny obraz. Zakładając odpowiednią trajektorię ruchu, dron może dokładnie oszacować obszar o powierzchni 250 tys. $m^2$ w ciągu 10 min[5].

W operacjach poszukiwawczo-ratowniczych drony są wykorzystywane do lokalizacji osób zaginionych w trudno dostępnych miejscach, np. w górskich terenach lub zniszczonych budynkach[6]. Kamery termowizyjne mogą wykrywać źródła ciepła, co znacznie przyspiesza akcje ratownicze. BSP pełnią także funkcję logistyczną, dostarczając niezbędne materiały do trudno dostępnych miejsc. W regionach odciętych od infrastruktury transportowej drony mogą transportować leki, żywność czy środki pierwszej pomocy, zmniejszając ryzyko dla ratowników i przyspieszając działania pomocowe.

Z uwagi na rosnące znaczenie technologii bezzałogowych w obszarze zarządzania kryzysowego oraz wspierania działań służb bezpieczeństwa powszechnego Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej PIB w Józefowie podjęło się zadania integracji BSP do systemów operacyjnych tych jednostek. W tym celu powołano Centrum Systemów Bezzałogowych, „Centrum Dronów", które będzie pełniło kluczową rolę w testowaniu, wdrażaniu i rozwoju nowych rozwiązań technologicznych w zakresie zastosowania BSP[7].

---

[3] G. Pietrek, M. Pietrek, *Bezzałogowe statki powietrzne jako zagrożenie dla infrastruktury krytycznej państwa*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 2022, nr 83, s. 169.

[4] R. Parczewski, *Rola bezzałogowych statków powietrznych w bezpieczeństwie ekologicznym*, „Journal off Modern Science" 2024, t. 58, nr 4, s. 514.

[5] P. Kardasz i in., *Aspekty użytkowania dronów w leśnictwie*, „Biuletyn Naukowy Wrocławskiej Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej. Informatyka" 2017, t. 7, nr 1, s. 19.

[6] K. Kolasińska-Morawska i in., *Zarządzanie sytuacjami kryzysowymi w ratownictwie górskim z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, „International Journal of New Economics and Social Sciences" 2023, t. 24, nr 8, s. 65.

[7] *CNBOP powołało „Centrum Dronów"*, https://www.swiatdronow.pl/cnbop-powolalo-centrum-dronow [dostęp: 26.02.2025].

## Wyzwania i ograniczenia technologiczne oraz prawne

Bezzałogowe statki powietrzne, popularnie nazywane dronami, stały się istotnym narzędziem w zarządzaniu kryzysowym. Ich zdolność do szybkiego pozyskiwania danych w czasie rzeczywistym, monitorowania obszarów dotkniętych katastrofami oraz wspierania działań ratowniczych sprawia, że są coraz częściej wykorzystywane przez służby ratunkowe i instytucje odpowiedzialne za bezpieczeństwo publiczne. Pomimo ogromnych korzyści płynących z ich stosowania istnieje szereg wyzwań i ograniczeń zarówno technologicznych, jak i prawnych, które wpływają na skuteczność i efektywność ich wykorzystania.

Jednym z kluczowych wyzwań technologicznych jest ograniczony czas pracy dronów wynikający z pojemności ich baterii. Większość dostępnych na rynku modeli może operować nie dłużej niż 30–60 min, co stanowi istotne utrudnienie w przypadku działań kryzysowych, które wymagają długotrwałego monitorowania sytuacji. Choć dostępne są modele o większym zasięgu i czasie pracy, ich koszt oraz potrzeba bardziej skomplikowanej obsługi stanowią barierę dla powszechnego wdrażania. Nowoczesne drony w dużej mierze bazują na innowacyjnym wykorzystaniu już istniejących technologii. Kluczowym elementem ich rozwoju jest miniaturyzacja oraz masowa produkcja komponentów, takich jak kadłuby, baterie i sensory. W przypadku niewielkich systemów bezzałogowych ograniczona przestrzeń na akumulatory i dodatkowe wyposażenie stanowi istotne wyzwanie. Każde dodatkowe obciążenie wpływa na wydajność energetyczną, skracając czas lotu i ograniczając możliwości zamontowania dodatkowego osprzętu. Ponadto zbyt duży ładunek może utrudniać stabilność oraz sterowność drona, co negatywnie wpływa na jego efektywność operacyjną[8].

Równie istotnym problemem jest zasięg komunikacji drona z operatorem. W warunkach kryzysowych, gdzie mogą występować zakłócenia w łączności, kontrolowanie drona może stać się problematyczne, szczególnie na terenach o ograniczonej infrastrukturze telekomunikacyjnej.

Precyzja i jakość zbieranych danych również stanowią wyzwanie, zwłaszcza w trudnych warunkach atmosferycznych. Silny wiatr, deszcz, mgła czy dym mogą znacznie ograniczać możliwości sensoryczne dronów i ich zdolność do skutecznego działania. Problemem jest również obciążenie przetwarzania danych – duża ilość informacji zebranych przez drony, w tym zdjęcia w wysokiej rozdzielczości czy nagrania wideo, wymaga zaawansowanych systemów analitycznych do ich szybkiej i efektywnej obróbki.

[8] Work Collective, *Cywilne wykorzystanie dronów*, tłum. A. Pol, „Infos Zagadnienia Społeczno-Gospodarcze" 2015, nr 4(187), s. 2.

W kontekście sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego, które mogłyby wspomóc automatyczne wykrywanie zagrożeń, nadal występują ograniczenia w zakresie skuteczności algorytmów i ich zdolności do analizy dynamicznych sytuacji kryzysowych.

Oprócz aspektów technologicznych istotnym wyzwaniem są ograniczenia prawne związane z użyciem dronów w zarządzaniu kryzysowym. Przepisy regulujące wykorzystanie BSP różnią się w zależności od kraju i często są restrykcyjne, co ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa w przestrzeni powietrznej oraz ochronę prywatności obywateli. Należy podkreślić, że przepisy związane z użytkowaniem dronów są realizowane na poziomie globalnym (ICAO, Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego) regionalnym (Agencja UE ds. Bezpieczeństwa Lotniczego) oraz krajowym (w przypadku Polski – ULC, Urząd Lotnictwa Cywilnego). Wdrażane przepisy mają przede wszystkim na celu zapewnienie bezpieczeństwa wszystkim użytkownikom przestrzeni powietrznej, jak również osobom i mieniu znajdującym się na ziemi[9].

Kwestia użytkowania systemów bezzałogowych uregulowana została początkowo w przepisach prawa lotniczego[10]. Od 31 grudnia 2020 r. obowiązują wspólne przepisy dronowe na terenie krajów Unii Europejskiej oraz w Lichtensteinie, Norwegii i Szwajcarii, które zostały określone na podstawie Rozporządzenia Delegowanego Komisji UE[11].

Wiele państw wymaga specjalnych zezwoleń na operowanie dronami w przestrzeni publicznej, zwłaszcza w sytuacjach nadzwyczajnych. W przypadku akcji ratunkowych i działań kryzysowych konieczne jest szybkie uzyskanie zgody na loty, co może stanowić poważną barierę operacyjną w sytuacjach wymagających natychmiastowej reakcji. Operacje BSP podzielono na trzy główne kategorie:

1. Kategoria Otwarta – jest kategorią o niskim ryzyku. Oznacza to, że nie trzeba składać oświadczeń lub uzyskiwać zezwoleń od ULC. W tej kategorii można wykonywać operacje w zasięgu widoczności wzrokowej pilota lub z pomocą obserwatora (VLOS), dronami o masie poniżej 25 kg w odległości nie większej niż 120 m od najbliższego punktu powierzchni ziemi.

---

[9] T. Zieliński, *Zagrożenia i przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym w ochronie portów lotniczych*, „Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego" 2022, R. 16, s. 10.

[10] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz.U. z 2006 r., nr 100, poz. 696, z późn. zm.).

[11] Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich; Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych.

Wymagana jest rejestracja w systemie operatorów SBSP, którzy posiadają drony o masie powyżej 250 g lub są wyposażone w czujnik do zbierania danych (np. kamerę). Więcej informacji na temat kategorii otwartej.

2. Kategoria Szczególna – jest przeznaczona dla operacji o średnim ryzyku, której parametry lotu wychodzą poza kategorię „otwartą". Wykonanie operacji będzie wymagało weryfikacji oraz w niektórych przypadkach zgody ULC. Wykonując operacje w kategorii szczególnej, należy dokonać rejestracji operatorów SBSP w Systemie. W kategorii szczególnej można wykonywać operacje SBSP po spełnieniu wybranego wariantu:
   a) złożenia oświadczenia o operacji zgodnej ze scenariuszem standardowym (STS) lub krajowym scenariuszem standardowym (NSTS);
   b) otrzymania zezwolenia na operacje w kategorii szczególnej;
   c) uzyskania certyfikatu ULC[12].

Ważnym aspektem prawnym jest również ochrona danych osobowych. Drony wyposażone w kamery i inne sensory mogą zbierać dane o osobach znajdujących się w obszarze objętym monitoringiem, co budzi obawy związane z prywatnością i zgodnością z regulacjami prawnymi, takimi jak Ogólne rozporządzenie o ochronie danych (RODO) w Unii Europejskiej. W przypadku monitorowania sytuacji kryzysowych w terenach miejskich istotne jest znalezienie równowagi między skutecznością działań ratowniczych a poszanowaniem praw obywateli. Polskie lotnictwo cywilne musi być przygotowane, poprzez wprowadzenie stosownych rozwiązań prawnych, do wdrożenia nowych, niegdyś rewolucyjnych, a dziś już powszechnie stosowanych rozwiązań technologicznych, w tym UAVs[13]. Wchodząca właśnie w życie nowelizacja prawa lotniczego podniesie poziom bezpieczeństwa operacji dronowych w polskiej przestrzeni powietrznej. Polska Agencja Żeglugi Powietrznej otrzymała uprawnienia, które spowodują zwiększenie nadzoru nad sektorem BSP, szczególnie w zakresie kontroli miejsc wyłączonych z możliwości dokonywania operacji[14].

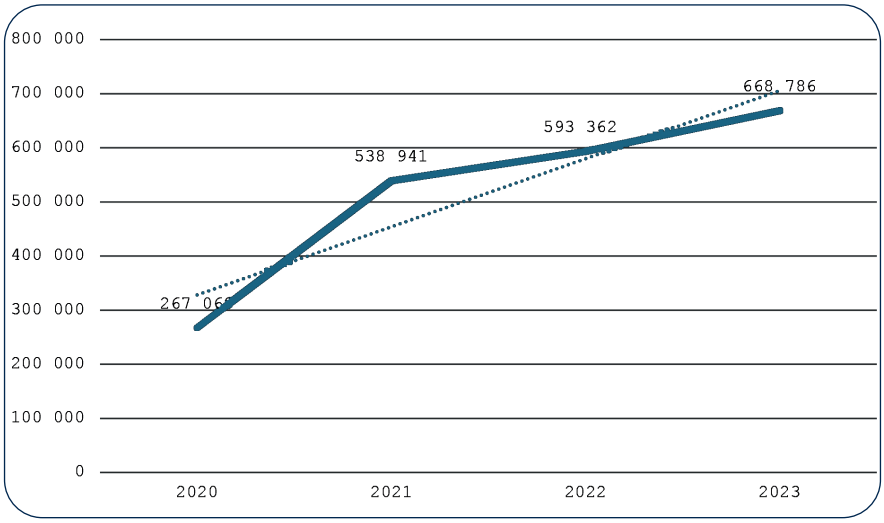
Według danych pochodzących z systemu PansaUTM w 2023 r. liczba aktywnych, unikalnych użytkowników systemu wyniosła ok. 47 700. Zgłosili oni łącznie 668 786 operacji BSP poprzez utworzenie tzw. Check-In. Na wykresie 1 przedstawiono statystykę Check-In w latach 2020–2023.

---

[12] *Informacje ogólne*, https://ulc.gov.pl/pl/drony/informacje-ogolne [dostęp: 26.02.2025].

[13] J. Maj-Marjańska, P. Pietrzak, *Prawne aspekty użytkowania bezzałogowych statków powietrznych*, „Bezpieczeństwo Narodowe" 2011, nr 2, s. 204.

[14] *PAŻP będzie wyznaczać strefy geograficzne dla dronów*, https://dlapilota.pl/wiadomosci/polska/pazp-bedzie-wyznaczac-strefy-geograficzne-dla-dronow [dostęp: 26.02.2025].




**Wykres 1. Check-In w latach 2020–2023**

Źródło: *Podsumowanie ruchu bezzałogowych statków powietrznych w 2023 r.*, https://www.pansa.pl/podsumowanie-ruchu-bezzalogowych-statkow-powietrznych-w-2023-r [dostęp: 26.02.2025].

Należy zaznaczyć, iż system PansaUTM jest zgodny z istniejącymi przepisami dotyczącymi ochrony danych osobowych (np. RODO) oraz kompatybilny z istniejącymi rozwiązaniami ATM (*Air Traffic Management*) wykorzystywanymi przez cywilne i wojskowe podmioty zarządzające przestrzenią powietrzną i załogowym ruchem lotniczym[15].

Dodatkowo zagadnieniem wymagającym uwagi jest koordynacja lotów dronów z innymi jednostkami operującymi w przestrzeni powietrznej. W sytuacjach kryzysowych, gdzie w akcji mogą uczestniczyć helikoptery ratunkowe, drony muszą działać w sposób zsynchronizowany, aby nie zakłócać innych operacji. Brak jednolitych standardów integracji BSP z systemami zarządzania ruchem lotniczym stanowi istotną barierę dla ich efektywnego wykorzystania w sytuacjach awaryjnych.

Podsumowując, pomimo ogromnego potencjału dronów w zarządzaniu kryzysowym, ich powszechne wdrożenie napotyka liczne wyzwania technologiczne oraz ograniczenia prawne. Konieczne jest dalsze inwestowanie w rozwój technologii pozwalających na wydłużenie czasu lotu, poprawę niezawodności systemów komunikacji oraz integrację z innymi narzędziami wykorzystywanymi przez służby ratunkowe. Równocześnie dostosowanie

[15] *PansaUTM*, https://www.pansa.pl/pansautm [dostęp: 26.02.2025]. Polska Agencja Żeglugi Powietrznej odpowiada za bezpieczeństwo ruchu lotniczego w polskiej przestrzeni powietrznej.

regulacji prawnych do dynamicznie rozwijających się możliwości dronów jest niezbędne, aby umożliwić ich efektywne i zgodne z prawem wykorzystywanie w zarządzaniu kryzysowym.

## Przyszłość i perspektywy rozwoju BSP w zarządzaniu kryzysowym

Bezzałogowe statki powietrzne, zwane również dronami, odgrywają coraz większą rolę w zarządzaniu kryzysowym, a ich przyszłość wydaje się niezwykle obiecująca. Dynamiczny rozwój technologii lotniczych, miniaturyzacji, sztucznej inteligencji i systemów łączności otwiera nowe możliwości dla wykorzystania tych urządzeń w sytuacjach nadzwyczajnych. W perspektywie kolejnych lat drony mogą stać się nieodłącznym elementem działań ratunkowych, monitoringu zagrożeń oraz wsparcia operacyjnego służb bezpieczeństwa i obrony cywilnej.

Przyszły rozwój BSP w zarządzaniu kryzysowym będzie w dużej mierze zależał od postępu w zakresie technologii energetycznych. Obecnie jednym z największych ograniczeń bezzałogowców jest stosunkowo krótki czas lotu wynikający z ograniczonej pojemności baterii. W nadchodzących latach można spodziewać się znaczącego postępu w dziedzinie magazynowania energii, co pozwoli na wydłużenie czasu operacyjnego dronów i ich zdolności do działania w wymagających warunkach. Rozwój akumulatorów litowo-jonowych, ogniw paliwowych oraz technologii hybrydowych może sprawić, że drony będą w stanie operować przez wiele godzin, a nawet dni, bez konieczności częstego ładowania czy wymiany źródła energii.

Innym kluczowym aspektem przyszłości BSP w zarządzaniu kryzysowym jest rozwój sztucznej inteligencji i automatycznych systemów analizy danych. Obecnie duża część operacji związanych z wykorzystaniem dronów wymaga interwencji operatorów, którzy analizują dane i podejmują decyzje na podstawie uzyskanych obrazów czy nagrań. W przyszłości drony wyposażone w zaawansowane algorytmy przetwarzania obrazu oraz technologie uczenia maszynowego będą mogły samodzielnie rozpoznawać zagrożenia, identyfikować osoby wymagające pomocy, a także automatycznie klasyfikować poziom ryzyka w danym obszarze. To pozwoli na znaczne skrócenie czasu reakcji i efektywniejsze wykorzystanie zasobów ratowniczych. Jednak nie ulega wątpliwości, że rozwój AI daje szerokie możliwości, ale niesie również określone ryzyka. Nie dziwi zatem fakt, że pojawienie się rozwiązań z zakresu AI i ich dynamiczny rozwój jest w dużej mierze związany z bezpieczeństwem i jego specjalistyczną sferą, jaką stanowi obronność[16].

[16] W. Fehler i in., *Systemy sztucznej inteligencji jako wyzwanie dla sfery bezpieczeństwa i obronności RP*, „Zeszyty Prawnicze BAS" 2021, nr 2, s. 274.

Równie ważnym obszarem, który w znaczący sposób wpłynie na rozwój dronów w zarządzaniu kryzysowym, jest integracja BSP z innymi systemami zarządzania kryzysowego i infrastrukturą łączności. W przyszłości drony będą mogły działać w ramach kompleksowych sieci operacyjnych, w których wymiana informacji pomiędzy różnymi jednostkami ratunkowymi, systemami analitycznymi i centrami dowodzenia będzie odbywać się w czasie rzeczywistym[17]. Dzięki zastosowaniu technologii 5G oraz satelitarnych systemów komunikacyjnych BSP będą w stanie przesyłać dane natychmiastowo, umożliwiając koordynację działań ratowniczych na niespotykaną dotąd skalę.

Kolejnym kluczowym aspektem przyszłego wykorzystania BSP w zarządzaniu kryzysowym jest rozwój autonomicznych systemów logistycznych. W sytuacjach kryzysowych, takich jak katastrofy naturalne, wojny czy epidemie, dostarczanie niezbędnych środków medycznych, żywności czy sprzętu ratunkowego może być niezwykle trudne. Ze względu na specyficzny układ konstrukcyjny BSP są w stanie minimalizować tego rodzaju zagrożenia[18].

Drony przyszłości będą mogły pełnić rolę autonomicznych kurierów, dostarczając niezbędne zasoby do trudno dostępnych miejsc bez potrzeby angażowania ludzi w potencjalnie niebezpieczne misje. Rozwój technologii cargo-dronów pozwoli na transport większych ładunków na znaczne odległości, co może zrewolucjonizować logistykę w obszarze zarządzania kryzysowego.

Nie można również zapominać o rosnącym znaczeniu roju dronów, czyli systemów składających się z wielu bezzałogowców operujących w sposób skoordynowany. W przyszłości drony będą mogły działać w formie inteligentnych, samodzielnie organizujących się grup, które będą w stanie przeprowadzać skomplikowane operacje ratunkowe, poszukiwania osób zaginionych czy mapowanie obszarów objętych katastrofą. Tego typu rozwiązania pozwolą na pokrycie znacznie większych obszarów w krótszym czasie oraz skuteczniejszą identyfikację zagrożeń.

Oprócz aspektów technologicznych istotnym wyzwaniem, ale i perspektywą na przyszłość, jest kwestia regulacji prawnych dotyczących wykorzystania BSP. Obecnie wiele krajów posiada restrykcyjne przepisy dotyczące operowania dronami, co w pewnym stopniu ogranicza ich zastosowanie w zarządzaniu kryzysowym. W przyszłości można spodziewać się stopniowej liberalizacji prawa, szczególnie w obszarach związanych z ratownictwem i sytuacjami wyjątkowymi. Możliwe jest również wdrożenie jednolitych

[17] P. Gładysz, R. Parczewski, A. Borucka, *Assessing the possibility of improving rescue operations with the use of UAVs. Case studies from wielkopolskie province*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 2023, nr 83, s. 200.

[18] R. Parczewski, T. Borowczyk, D. Stankowski, *Ochrona granicy państwowej z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, „Studia de Securitate" 2021, nr 11(2), s. 60.

standardów operacyjnych dla BSP w działaniach ratunkowych na poziomie międzynarodowym, co ułatwi współpracę pomiędzy różnymi krajami i organizacjami. Poniżej przedstawiono przykładowe zastosowania dronów w zarządzaniu kryzysowym:

- wsparcie procesu koordynacji działań w czasie rzeczywistym przy zdarzeniach z udziałem wielu podmiotów ratowniczych w tym prezentacji w czasie rzeczywistym lokalizacji ratowników i dysponowanego sprzętu;
- lokalizacja źródeł pożarów;
- wsparcie akcji poszukiwawczych osób zaginionych, w szczególności na dużych terenach leśnych, obszarach trudno dostępnych, w porze nocnej oraz podczas powodzi;
- prowadzenie zdalnej analizy skażeń;
- szybkie dostarczanie środków ratunkowych do miejsc trudno dostępnych (przerębel, powódź, góry, rumowiska i inne) bez konieczności narażania ratowników PSP;
- wsparcie procesu dowodzenia podczas wypadków masowych w transporcie spowodowanych nagłymi zmianami pogody, w szczególności opadami na autostradach oraz innych szlakach komunikacyjnych, na których w krótkim czasie w wyniku zdarzenia tworzą się rozległe korki, utrudniające dotarcie na miejsce służb ratunkowych.

Najważniejsze wyzwania procesu implementacji BSP w służbach zarządzania kryzysowego, które przedstawia Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej to:

- przekonanie decydentów do nowego narzędzia;
- finansowanie – szkoleń, zakupu sprzętu, ćwiczeń poligonowych;
- szkolenie personelu – wypracowanie dobrych praktyk, utrwalanie dobrych nawyków;
- opracowanie procedur operacyjnych i scenariuszy wykorzystania, niezbędne zmiany legislacyjne;
- technologia – bezpieczeństwo, jakość, odporność środowiskowa;
- wyzwania związane z gromadzeniem i przechowywaniem informacji poufnych i wrażliwych;
- przekonanie opinii publicznej – zastosowanie dronów będzie utrudnione bez akceptacji społecznej[19].

BSP stanowią nowoczesne i skuteczne narzędzie wspierające działania ratownicze i zarządzanie kryzysowe. Ich zastosowanie pozwala na szybsze i bardziej precyzyjne reagowanie w sytuacjach zagrożenia, minimalizując ryzyko dla służb oraz społeczeństwa.

[19] *CNBOP powołało „Centrum Dronów"*, https://www.swiatdronow.pl/cnbop-powolalo-centrum-dronow [dostęp: 26.02.2025].

Rozwój BSP w zarządzaniu kryzysowym może również przynieść korzyści w zakresie prewencji i wczesnego ostrzegania przed zagrożeniami. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych sensorów i systemów analitycznych drony będą mogły monitorować obszary podatne na katastrofy naturalne, analizować zmiany klimatyczne czy identyfikować potencjalne zagrożenia epidemiologiczne. W ten sposób możliwe będzie podejmowanie działań zapobiegawczych na długo przed wystąpieniem kryzysu, co w znacznym stopniu może zmniejszyć straty i koszty związane z reagowaniem na sytuacje nadzwyczajne.

Podsumowując, przyszłość BSP w zarządzaniu kryzysowym rysuje się w jasnych barwach, a ich rola w tej dziedzinie będzie z pewnością rosła. Dzięki postępowi technologicznemu, integracji z nowoczesnymi systemami analitycznymi oraz stopniowej adaptacji regulacji prawnych drony mogą stać się kluczowym elementem globalnych strategii zarządzania kryzysowego. Można oczekiwać, że w kolejnych latach BSP będą jeszcze bardziej zaawansowane, wydajne i autonomiczne, co uczyni je niezastąpionym narzędziem w walce z zagrożeniami oraz w ochronie życia i zdrowia ludzi na całym świecie.

## Podsumowanie

Bezzałogowe statki powietrzne stały się niezastąpionym narzędziem w zarządzaniu kryzysowym, pozwalając na szybkie monitorowanie sytuacji, ocenę zagrożeń i wsparcie działań ratowniczych. Ich wszechstronność i mobilność sprawiają, że mogą być wykorzystywane w różnych sytuacjach, od klęsk żywiołowych po katastrofy przemysłowe. Wdrożenie BSP do systemów zarządzania kryzysowego poprawia skuteczność działań operacyjnych i zwiększa bezpieczeństwo zarówno ratowników, jak i ludności cywilnej. BSP odznaczają się wysoką skutecznością i wszechstronnością, ponieważ mogą być stosowane w wielu scenariuszach kryzysowych, zapewniając szybkie pozyskiwanie danych i ich analizę w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe jest efektywne planowanie i podejmowanie decyzji operacyjnych. Ich zastosowanie w działaniach ratowniczych znacząco zmniejsza ryzyko dla ratowników, eliminując konieczność wchodzenia w niebezpieczne obszary i pozwalając na prowadzenie działań z dystansu.

Mimo licznych zalet wykorzystanie BSP wiąże się również z pewnymi utrudnieniami. Główne wyzwania to ograniczony czas lotu, wpływ warunków atmosferycznych na efektywność działania oraz zagrożenia związane z bezpieczeństwem systemów komunikacyjnych. Odpowiednia regulacja prawna i dalszy rozwój technologiczny są kluczowe dla pełnego wykorzystania potencjału tych systemów.

Rozwój BSP powinien skupić się na zwiększeniu ich autonomii poprzez zastosowanie sztucznej inteligencji, co umożliwi samodzielne podejmowanie decyzji w sytuacjach kryzysowych. Ważne jest także wydłużenie czasu lotu poprzez zastosowanie bardziej wydajnych źródeł zasilania oraz udoskonalenie systemów komunikacyjnych, co pozwoli na stabilny przepływ informacji nawet w trudnych warunkach. Kluczową kwestią pozostaje także integracja BSP z innymi systemami zarządzania kryzysowego, aby mogły działać jako część większej, skoordynowanej sieci ratowniczej.

W Polsce istotnym krokiem w tym kierunku jest działalność Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej PIB, które poprzez powołanie Centrum Systemów Bezzałogowych, „Centrum Dronów", wspiera rozwój technologii BSP i ich implementację do systemu bezpieczeństwa publicznego. Tego typu inicjatywy przyczyniają się do profesjonalizacji i standaryzacji systemów bezzałogowych, co jest kluczowe dla ich skutecznego wykorzystania w sytuacjach kryzysowych.

Dalszy rozwój technologii BSP jest niezbędny, aby zwiększyć ich efektywność i zapewnić ich pełną integrację z systemami zarządzania kryzysowego. Inwestycje w nowe technologie, rozwój regulacji prawnych oraz szkolenia dla służb ratowniczych pozwolą na jeszcze skuteczniejsze wykorzystanie tych systemów, co w przyszłości może przyczynić się do znacznego zwiększenia bezpieczeństwa publicznego i efektywności działań kryzysowych.

## Bibliografia

Bogusz D., *Flight training of military pilots in Poland*, Warszawa 2025.

Bogusz D., *Polish Air Force*, Warszawa 2024.

Bushnaq O. i in., *Unmanned aerial vehicles (UAVs) for disaster management*, [w:] A. Denizli i in., *Nanotechnology-Based Smart Remote Sensing Networks for Disaster Prevention*, Elsevier 2022.

Fehler W. i in., *Systemy sztucznej inteligencji jako wyzwanie dla sfery bezpieczeństwa i obronności RP*, „Zeszyty Prawnicze BAS" 2021, nr 2.

Gładysz P., Parczewski R., Borucka A., *Assessing the possibility of improving rescue operations with the use of UAVs. Case studies from wielkopolskie province*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 2023, nr 83.

https://dlapilota.pl.

https://ulc.gov.pl.

https://www.pansa.pl.

https://www.swiatdronow.pl.

Kardasz P. i in., *Aspekty użytkowania dronów w leśnictwie*, „Biuletyn Naukowy Wrocławskiej Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej. Informatyka" 2017, t. 7, nr 1.

Kolasińska-Morawska K. i in., *Zarządzanie sytuacjami kryzysowymi w ratownictwie górskim z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, „International Journal of New Economics and Social Sciences" 2023, t. 24, nr 8.

Maj-Marjańska J., Pietrzak P., *Prawne aspekty użytkowania bezzałogowych statków powietrznych*, „Bezpieczeństwo Narodowe" 2011, nr 2.

Parczewski R., Borowczyk T., Stankowski D., *Ochrona granicy państwowej z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, „Studia de Securitate" 2021, nr 11(2).

Parczewski R., *Rola bezzałogowych statków powietrznych w bezpieczeństwie ekologicznym*, „Journal off Modern Science" 2024, t. 58, nr 4.

Pietrek G., Pietrek M., *Bezzałogowe statki powietrzne jako zagrożenie dla infrastruktury krytycznej państwa*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 2022, nr 83.

Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich.

Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych.

Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz.U. z 2006 r., nr 100, poz. 696, z późn. zm.).

Work Collective, *Cywilne wykorzystanie dronów*, tłum. A. Pol, „Infos Zagadnienia Społeczno-Gospodarcze" 2015, nr 4(187).

Zieliński T., *Zagrożenia i przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym w ochronie portów lotniczych*, „Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego" 2022, R. 16.

**płk dr hab. Dariusz Bogusz**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0000-0001-7755-0949

# Taksówki powietrzne – nowe możliwości w transporcie pasażerskim

## Air taxis – new possibilities in passenger transport

**Streszczenie**
Miejska mobilność powietrzna to koncepcja nowego systemu przewozu lotniczego mającego usprawnić transport w wielkich miastach, na ich przedmieściach i sąsiedztwie. Koncepcja opiera się na technologii statków powietrznych pionowego startu i lądowania wyposażonych w napęd elektryczny z nowoczesnymi akumulatorami. Oczekuje się, że zostanie on wdrożony w Europie w najbliższej perspektywie, umożliwiając szybki i ekologiczny transport miejski. Wprowadzenie do użytku elektrycznych statków powietrznych pionowego startu i lądowania (eVTOL – *electric vertical take-off and landing*) jest nieuniknione. Przedmiotem badań jest akceptacja społeczna dla wprowadzenia miejskich taksówek powietrznych. Celem artykułu jest identyfikacja percepcji społeczeństwa dla wprowadzenia miejskiej mobilności powietrznej, powszechnie określanej jako miejskie taksówki powietrzne, air taxi. Problem badawczy wyrażono pytaniem: Jak obywatele postrzegają program miejskiej mobilności powietrznej użytkowników? Wydaje się, że akceptacja i zaufanie społeczne będą miały zasadnicze znaczenie dla udanego wdrożenia miejskiej mobilności powietrznej w Europie.

**Słowa kluczowe:** taksówki powietrzne, miejska mobilność powietrzna, air taxi, transport

**Abstract**
Urban air mobility is a concept for a new air transport system designed to improve transportation in large cities, their suburbs, and surrounding areas. The concept is based on vertical takeoff and landing aircraft equipped with electric propulsion systems and modern batteries. It is expected to be implemented in Europe in the near future, enabling fast and environmentally friendly urban transport. The introduction of electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft is inevitable. The subject of the research is public acceptance of the introduction of urban air taxis. The aim of the article is to identify public perceptions of the introduction of urban air mobility, commonly referred to as urban air taxis.

The research problem is expressed in the question: How do citizens perceive the urban air mobility program for users? It seems that public acceptance and trust will be essential for the successful implementation of urban air mobility in Europe.

**Keywords:** air taxi, urban air mobility, transport

## Wprowadzenie

Nowoczesne technologie zmieniają świat, wpływają na życie jednostek i całych społeczeństw. Rozwój technologiczny ma wpływ na styl życia ludzi, zmienia modele pracy i formy odpoczynku. Przykładem tego, jak bardzo najnowsze technologie wpływają na życie na Ziemi jest rozwój transportu lotniczego, który zmienił świat w globalną wioskę. Współcześnie największą rewolucję technologiczną widać w sektorze informatycznym, który stworzył kolejną domenę działalności człowieka: cyberprzestrzeń. W aspekcie przedmiotu badań artykuł porusza nadchodzącą zmianę w strukturze transportu miejskiego. Technologia ma zasadnicze znaczenie dla rozwoju społeczeństw, a transport był warunkiem dostępu do nowych rynków zbytu. Opanowanie przestrzeni powietrznej zmieniło ludzkość, która może szybko przemieszczać pasażerów i towary. Dzięki wykorzystaniu statków powietrznych zmieniło się pole walki i obraz wojen. Zagrożenia powietrzne zmuszają do rozwoju kolejnych narzędzi w celu zapewnienia ochrony ludzi przed atakami z powietrza. Kolejnym krokiem było zastosowanie militarne i niemilitarne bezzałogowych statków powietrznych (BSP). Rozwój lotnictwa załogowego i bezzałogowego przez lata był motorem wzrostu światowej gospodarki[1]. Obecnie rozwiązaniem mającym zapewnić sprawny i bezpieczny transport w gęsto zaludnionym i zabudowanym środowisku miejskim ma być nowy system przewozu lotniczego dla pasażerów i towarów dzięki rozwojowi elektrycznych statków powietrznych pionowego startu i lądowania (eVTOL – *electric vertical take-off and landing*).

Przedmiotem badań jest akceptacja społeczna dla wprowadzenia miejskich taksówek powietrznych. Celem artykułu jest identyfikacja percepcji społeczeństwa dla wprowadzenia miejskiej mobilności powietrznej, powszechnie określanej jako miejskie taksówki powietrzne, air taxi. Problem badawczy wyrażono pytaniem: Jak obywatele postrzegają program miejskiej mobilności powietrznej użytkowników? Wydaje się, że akceptacja i zaufanie społeczne będą miały zasadnicze znaczenie dla udanego wdrożenia miejskiej mobilności powietrznej w Europie.

[1] J. Skóra, *Pandemia Covid-19 jako główny determinant przeobrażeń w sektorze lotniczym*, [w:] *Bezpieczeństwo w portach lotniczych i morskich*, red. D. Bogusz, K. Ogonowski, A. Rurak, Dęblin 2022, s. 114.

W artykule wykorzystano badania zrealizowane przez Europejską Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), która przeprowadziła kompleksowe badanie dotyczące społecznej akceptacji operacji miejskiej mobilności powietrznej (UAM – *Urban Air Mobility*) w całej Unii Europejskiej.

Badanie prowadzono przez okres 6 miesięcy od listopada 2020 r. do maja 2021 r. Obejmowało ono gruntowne badania, przegląd literatury, analizę rynku miejskiego, badanie ilościowe, badanie jakościowe oraz szczegółowy test hałasu. Przeprowadzono konsultacje z około 4 tys. mieszkańców z 5 dużych miast: Barcelona, Budapeszt, Hamburg, Mediolan, Paryż oraz rejonie Öresund (obszar przygraniczny duńsko-szwedzki[2]).

Miejska mobilność powietrzna to koncepcja nowego systemu przewozu lotniczego mającego usprawnić transport w wielkich miastach, na ich przedmieściach i sąsiedztwie. Koncepcja opiera się na technologii statków powietrznych pionowego startu i lądowania wyposażonych w napęd elektryczny z wytrzymałymi bateriami akumulatorowymi. Oczekuje się, że zostanie on wdrożony w Europie w ciągu 3 do 5 lat, umożliwiając szybki i ekologiczny transport miejski.

## Programy mobilności powietrznej

Jak pisze Popow, pierwszym bezzałogowym aparatem latającym był latawiec, używany przez Chińczyków około 2000 r. p.n.e. do określania pozycji wojsk przeciwnych i prowadzenia wojny psychologicznej. Przez lata rozwijano BSP, które miały głównie zastosowanie militarne. Dopiero od lat 90. XX w. potencjał BSP zaczęto wykorzystywać w środowisku cywilnym[3].

Dalszy rozwój lotnictwa bezzałogowego następował równolegle z lotnictwem załogowym. Począwszy od pierwszego lotu braci Wright w 1903 r., od którego umownie można uznać początek lotnictwa, w cieniu samolotu załogowego systematycznie rozwijano konstrukcje bezzałogowe. Podobnie jak w lotnictwie załogowym główną przyczyną rozwoju BSP były nowe technologie dynamicznie testowane i rozwijane w celu osiągnięcia dominacji powietrznej.

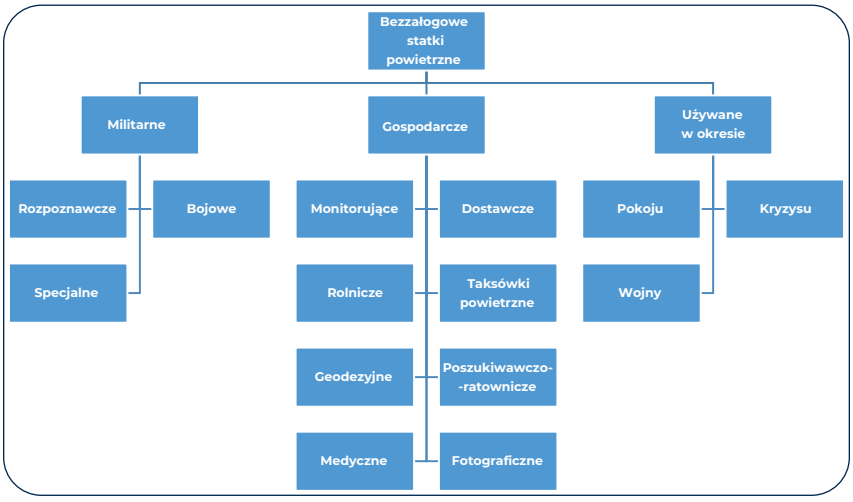
W ciągu ostatnich dwóch dekad widać dynamiczny wzrost zainteresowania i produkcji popularnych dronów zarówno w zastosowaniach wojskowych, jak i cywilnych. Początkowo BSP były rozwijane do celów militarnych, wykorzystywano ich możliwości dla zadań realizowanych przez służby mundurowe. Współcześnie można zaobserwować dynamicznie rozwijający się sektor dronów wykorzystywanych w gospodarce. Jest to związane z szybkim

[2] Region Öresund to obszar na granicy Danii i Szwecji obejmujący miasta: Kopenhaga, Hillerod, Helsingor, Malmo oraz Lund.

[3] Por. D. Becmer, A. Romanek, *Bezzałogowe Platformy Latające*, Akademia Wojsk Lądowych, Wrocław 2011, s. 5.

rozwojem technologii elektronicznej, miniaturyzacją podzespołów i coraz nowocześniejszymi technologiami w produkcji płatowców, układów napędowych zapewniających bezpieczeństwo użytkowania.

BSP, zwane także dronami, stają się coraz powszechniejszym i niezbędnym sprzętem w wielu gałęziach gospodarki. Podobnie jak w przypadku innych nowych technologii są one ciągle udoskonalane i stosowane w kolejnych sektorach gospodarczych. Dynamiczny rozwój BSP powoduje potrzebę ciągłej aktualizacji klasyfikacji i podziału tych systemów. Na podstawie analizy najnowszych zastosowań można wyróżnić klasyfikację względu na ich przeznaczenie (rys. 1). Architektura podziału BSP będzie się zmieniać także w przyszłości.




**Rys. 1. Podział BSP ze względu na przeznaczenie**

Źródło: opracowanie własne.

Technika dronów staje się coraz bardziej zaawansowana i wyszukana. Umożliwia ona chociażby bardziej precyzyjne sterowanie, dokładniejsze pozycjonowanie, a także działanie w sposób półautomatyczny lub w pełni automatyczny. Półautomatyka wspomaga pilota w sterowaniu, pozwala mu unikać zderzeń z obiektami, obsługuje przenoszone urządzenia. Dzięki temu możliwe są loty automatyczne, sterowane przez systemy według zaprogramowanych tras wraz z automatycznym wykonywaniem określonych czynności. Wspomniany rozwój następuje zarówno w kierunku powiększania, jak i miniaturyzacji tych pojazdów. Dla większych jednostek znajduje się ich zastosowanie w transporcie towarowym rzeczy lub nawet transporcie osób[4].

[4] P.J. Wrzosek, *Wykorzystanie dronów w zakresie bezpieczeństwa. Nowe rozwiązania z projektu FASTER*, „Przegląd Policyjny" 2022, nr 1(145), s. 165.

Kolejnym etapem wykorzystania i rozwoju BSP w sektorze komercyjnym (niemilitarnym) jest wykorzystanie w transporcie lotniczym pasażerów i ładunków. Powietrzne taksówki do tej pory kojarzone były z firmami oferującymi loty pasażerskie, biznesowe i dyspozycyjne wykonywane z wykorzystaniem niewielkich śmigłowców i samolotów przeznaczonych do lotów krótko- i średniodystansowych zabierających na pokład 3–4 osoby. Rewolucja technologiczna spowodowała rozwój pojazdów pionowego startu i lądowania na użytek transportu pasażerskiego.

Air taxi nie jest pojęciem nowym. Według Dictionary Cambridge oznacza samolot, zwykle mały, zabierający pasażerów na krótkie loty realizowane na ich zapotrzebowanie w zamian za opłatę[5]. Słownik Webstera taksówkę powietrzną definiuje jako mały samolot komercyjny używany do krótkich lotów między miejscowościami nieobsługiwanymi przez regularne linie lotnicze[6]. W Polsce usługi taksówek powietrznych organizowane są jako czarter konkretnego statku powietrznego w określonych godzinach i trasie w zależności od wymagań klienta. Taksówki powietrzne to także małe maszyny (SMTS) realizujące połączenia dla mniejszych grup odbiorców, najczęściej od 1 do 6 osób[7]. Przeloty taksówkami powietrznymi kierowane były przede wszystkim do klientów biznesowych.

Na świecie realizowanych jest wiele projektów maszyn zdolnych startować i lądować pionowo, z bezpiecznym oraz ekologicznym napędem. Elektryczne pojazdy pionowego startu i lądowania, zwane taksówkami powietrznymi, mają zrewolucjonizować transport pasażerski w zatłoczonych miastach.

W przeciągu najbliższych lat zmieni się struktura transportu w obszarach miejskich. Miejska mobilność powietrzna to wizja nowego systemu transportu lotniczego dla pasażerów i ładunków w gęsto zaludnionym i zabudowanym środowisku oraz wokół niego, możliwa dzięki elektrycznym statkom powietrznym pionowego startu i lądowania wyposażonym w nowe technologie, takie jak ulepszone technologie akumulatorów i napęd elektryczny. Statki te będą latać z pilotem na pokładzie lub będą sterowane zdalnie. Transformacja mobilności powietrznej odbywa się na naszych oczach i jest nieunikniona jak codzienność smartfonów.

Według analityków Research and Markets światowy rynek bezzałogowych, powietrznych taksówek wypracuje w 2025 r. przychody sięgające 74 mln dol. W ciągu kolejnych 5 lat obroty mogą sięgnąć do poziomu 860 mln dol. W wyścigu o zaistnienie na rynku pasażerskich BSP uczestniczy coraz więcej koncernów znanych z branży motoryzacyjnej, które dostrzegają nadchodzącą zmianę na rynku komunikacyjnym i transportowym[8].

---

[5] https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/air-taxi [dostęp: 31.08.2025].

[6] https://www.merriam-webster.com/dictionary/air%20taxi [dostęp: 31.08.2025].

[7] https://www.samoloty.pl/artykuly-lotnicze/11137-polskie-air-taxi [dostęp: 31.08.2025].

[8] https://elektrotechnikautomatyk.pl/artykuly/bezzalogowe-taksowki-powietrzne-to-przyszlosc-transportu [dostęp: 31.08.2025].

## Percepcja miejskiej mobilności powietrznej w społeczeństwie

Dr Tomasz Balcerzak w swojej pracy zwraca uwagę, że zaangażowanie autonomicznych i półautonomicznych systemów w sektorze transportu lotniczego wymaga przezwyciężenia licznych wyzwań. Poza aspektami bezpieczeństwa, jeszcze przed rozpoczęciem usług transportu, istnieje konieczność opracowania przepisów umożliwiających bezpieczną realizację takich usług. Nie mniej ważnym problemem jest akceptacja społeczna dla projektu mobilności powietrznej opartej na autonomicznych systemach lotniczych. Ludzie muszą zaufać technologiom, które umożliwiają statkom powietrznym latanie bez bezpośredniej interwencji ludzi[9].

Przeloty dronów nad terenem zaludnionym stanowi zagrożenie dla życia i zdrowia tych osób. W razie awarii drony mogą spaść na domostwa, osoby, zwierzęta, spowodować szkody, zranienie ciała, a nawet śmierć. Poranienie człowieka może nastąpić też podczas świadomego wcześniej zaprogramowanego lądowania drona, który wyląduje w miejscu przebywania człowieka[10].

Badania, na podstawie których zidentyfikowano postrzeganie w społeczeństwie europejskim miejskich taksówek powietrznych, zostało przeprowadzone dla EASA przez McKinsey & Company na podstawie umowy ramowej na świadczenie usług doradczych. Badanie EASA miało na celu ocenę nastawienia społeczeństwa UE do UAM na początku 2021 r., na długo przed przyszłym wdrożeniem w miastach UE, przewidzianym na lata 2024–2025. Wyniki zostały wygenerowane z największym możliwym aktualnym wysiłkiem, jednak odbiór społeczny może zmienić się z czasem, gdy obywatele zetkną się z rzeczywistym działaniem UAM.

Analiza wyników badań wskazuje, że postrzeganie UAM jest pozytywne. Większa część badanych jest gotowa wypróbować usługi oferowane przez UAM, a wizja zmiany struktury transportu miejskiego nie budzi ich niechęci. Badanie wykazało brak istotnych różnic geograficznych lub demograficznych w osiągniętych rezultatach. Według opinii respondentów szczególnie przydatne dla społeczeństwa są przypadki użycia UAM w nagłych wypadkach, bardzo pozytywnie postrzegane jest wykorzystanie BSP w sektorze usług transportowych i dostawczych.

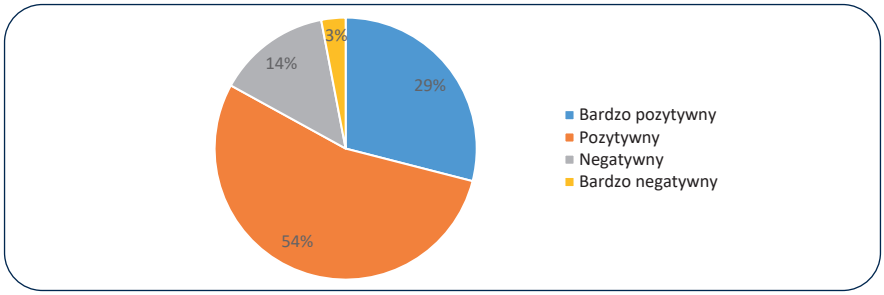
Nowoczesne BSP znalazły zastosowanie w wielu dziedzinach ludzkiej działalności, w których dostęp z powietrza umożliwia szybkość działania oraz bezpieczeństwo. W wielu sektorach gospodarki BSP zastępują pracę

---

[9] T. Balcerzak, *Bezpieczeństwo przewozu pasażerów oraz ładunków w jednoosobowych i bezpilotowych statkach powietrznych,* Oficyna Wydawnicza Uczelni Łazarskiego, Warszawa 2024, s. 19.

[10] B. Berner, J. Chojnacki, *Wykorzystanie dronów do transportu towarów*, „Autobusy" 2016, nr 8, s. 234.

ludzi w trudnych i niebezpiecznych sytuacjach, jednak ich zastosowanie w transporcie miejskim budzi duże kontrowersje społeczne. Pierwsze pytanie badania dotyczyło ogólnej opinii, gdyby w mieście zamieszkania wprowadzono rozwiązania w zakresie miejskiej mobilności powietrznej (wykres 1).

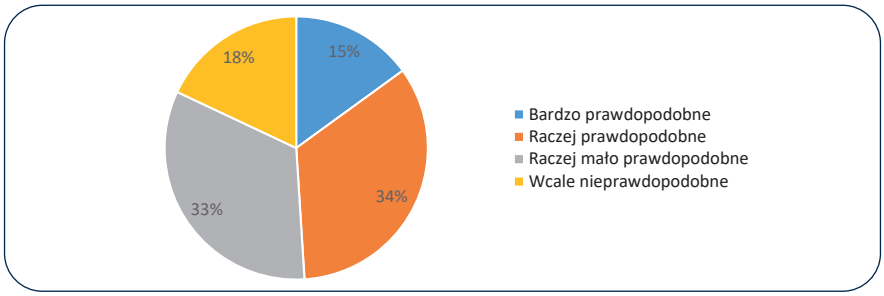



**Wykres 1. Ogólne nastawienie do miejskiej mobilności powietrznej**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, European Union Aviation Safety Agency, Bruksela 2021, s. 8.

Zdecydowana większość badanych, bo aż 83%, ma pozytywne (bardzo pozytywne lub pozytywne) zdanie na temat wprowadzenia miejskiej mobilności powietrznej. Tylko 17% negatywnie postrzega wizję taksówek powietrznych w komunikacji miejskiej. Tylko 3% respondentów ma bardzo negatywny stosunek do wprowadzenia miejskiego transportu powietrznego.

Kolejne pytanie dotyczyło prawdopodobieństwa korzystania z taksówek powietrznych (tj. latającego pojazdu, który przewozi pasażerów z punktu A do punktu B) za cenę o 25–50% wyższą niż obecne opcje transportu miejskiego, takie jak konwencjonalne taksówki (drogowe) lub usługi podobne do Ubera – przy założeniu, że podróż można odbyć w czasie o połowę krótszym niż taksówka. Odpowiedzi respondentów przedstawia wykres 2.

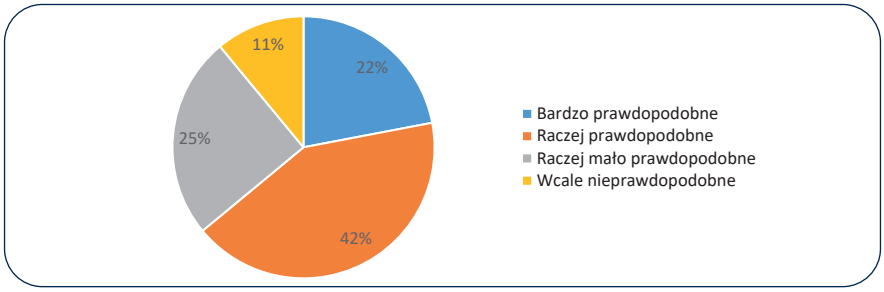



**Wykres 2. Prawdopodobieństwo korzystania z taksówek powietrznych**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, s. 11.

W tym przypadku wyniki chętnych i nieufnych wobec korzystania z taksówek powietrznych są podobne – 51% badanych osób ma negatywny stosunek, a 49% korzystałoby z tej formy transportu, nie zważając na wyższe koszty takiej usługi. Być może wyższe koszty i aspekty bezpieczeństwa nie zachęcają do skorzystania z możliwości, jakie oferuje miejska mobilność powietrzna.

Następne pytanie dotyczyło potencjalnego korzystania z dostawy towarów dronem (np. dostawy paczek towarów zakupionych na platformach internetowych do pobliskiego centrum dystrybucji, ogrodu, prywatnej posesji lub miejsca publicznego), gdyby usługa ta była oferowana w mieście respondenta. Dodatkowe założenie to koszt dostawy dronem, który byłby około dwukrotnie wyższy niż dzisiejsze standardowe opłaty za wysyłkę, a usługa gwarantowałaby dostawę w ciągu 2 godz. od złożenia zamówienia (wykres 3).




**Wykres 3. Prawdopodobieństwo korzystania z usług transportu przesyłek**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, s. 11.

Według odpowiedzi 64% respondentów wybrałoby tę formę dostawy pomimo podwyższonych kosztów. Dla nich liczy się także czas realizacji zamówienia, 36% badanych nie jest przekonanych do zalet dostaw statkami bezzałogowymi i wybrałoby klasyczną formę dostarczenia przesyłek.

Podsumowując, 71% respondentów w całej próbie prawdopodobnie skorzystałoby z dowolnej usługi UAM (drony, taksówki powietrzne lub obie). Duża grupa zwolenników (43%), jest chętna do wypróbowania obu przypadków użycia. Ponad połowa w tej grupie (22% ogółu) jest tylko nieznacznie pozytywnie nastawiona, ale około jedna czwarta (10% ogółu) jest bardzo zainteresowana obiema usługami.

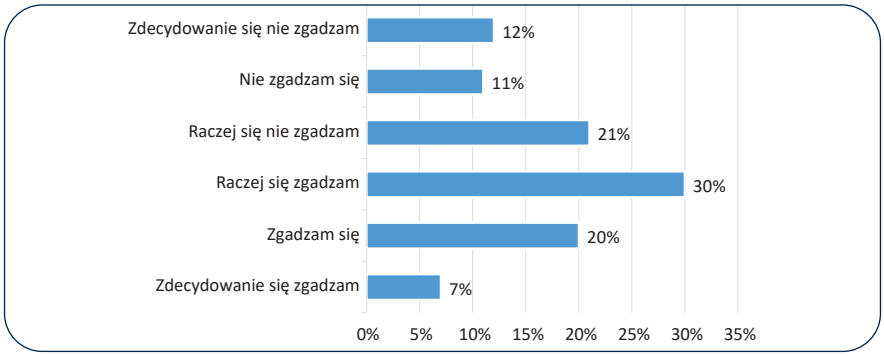
Z drugiej strony, 29% respondentów nie jest chętnych do wypróbowania przynajmniej jednej usługi UAM. Ponieważ zajmują stanowisko negatywne, osoby odrzucające UAM potencjalnie sprzeciwiają się wprowadzeniu UAM. Jednak tylko 8% respondentów, którzy zdecydowanie wykluczają korzystanie z jakiejkolwiek usługi UAM, jest zdecydowanie przeciwnych[11].

[11] Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, Bruksela 2021, s. 9.

Pytania mogące dostarczyć kolejne informacje na temat postrzegania miejskiej mobilności powietrznej podzielono na opinie pasażerów i pieszych, z podziałem na usługi transportu przesyłek i pasażerów. Dodatkowo podkreślają, że transport tych dwóch rodzajów będzie realizowany przez statki z pilotem na pokładzie i statki bezzałogowe.

Zadane przez EASA pytania ankiety społecznej, dotyczące dronów przeznaczonych do dostarczania towarów zdalnie sterowanymi systemami powietrznymi bez pilotów na pokładzie, poprzedzało zapoznanie respondentów z informacjami o BSP. Drony w założeniu miały średnią rozpiętość skrzydeł 3 m, latały na wysokości od 120 do 150 m i były certyfikowane przez właściwe organy. Badany oceniał, w jakim stopniu zgadza się lub nie zgadza ze stwierdzeniami oraz w jakim stopniu.

Badanie zróżnicowano na odczucia i opinie z punktu widzenia pieszych oraz użytkowników taksówek powietrznych. Wykres 4 przedstawia rozkład odpowiedzi na pytanie: Jako pieszy na ziemi czułbym się bezpiecznie, mając nade mną potencjalnie latające drony dostawcze?

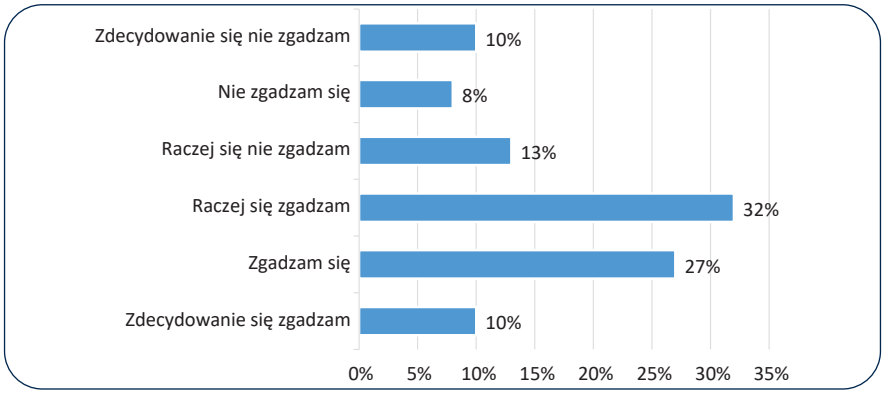



**Wykres 4. Poczucie bezpieczeństwa pieszych wobec latających dronów dostawczych**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, s. 14.

Odsetek osób, które czują się bezpiecznie w obecności bezzałogowych dronów dostawczych, wynosi ogółem 57%, ale jest znacznie niższy niż odsetek osób, które wypróbowałyby dostawy dronami (64%), przedstawionymi na wykresie 3. Paradoksalnie porównanie tych wyników wskazuje, że istnieją osoby chętne do wypróbowania dostaw dronami, ale nieczujące się bezpiecznie z bezzałogowymi dronami dostawczymi w użyciu.

Wykres 5 przedstawia wyniki odpowiedzi na pytanie, czy badany: jako pieszy akceptuje fakt, że załogowe taksówki powietrzne mogą latać nad jego głową? Zakładając, że wszystkie statki powietrzne są certyfikowane przez właściwe organy, badany miał ocenić, w jakim stopniu zgadza się lub nie z każdym stwierdzeniem dla załogowej taksówki powietrznej.

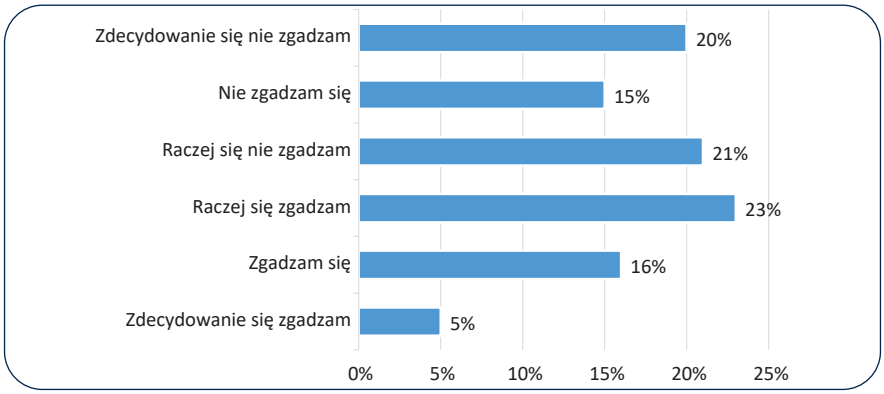



**Wykres 5. Zgoda na loty załogowych taksówek powietrznych ponad głową respondenta**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, s. 14.

Odsetek osób, które czują się bezpiecznie jako piesi wobec załogowych taksówek powietrznych (69%) jest wyższy niż wobec bezzałogowych dronów dostawczych (57%). Ponieważ bezzałogowe drony (w innych zastosowaniach) są już w użyciu, wyniki sugerują, że poziom komfortu z załogowymi taksówkami powietrznymi jest dość wysoki i wprowadzenie ich nie spotka się z silnym sprzeciwem.

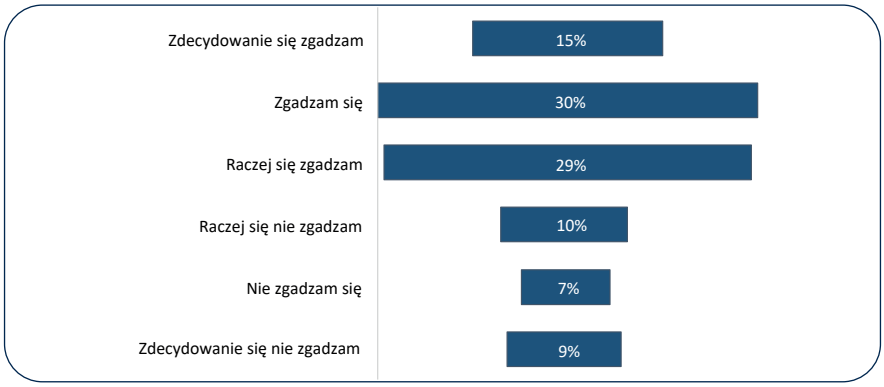
Wykres 6 przedstawia rozkład odpowiedzi na pytanie, czy badany: jako pieszy akceptuje fakt, że bezzałogowe taksówki powietrzne mogą wykonywać loty nad jego głową? Zakładając, że wszystkie statki powietrzne są certyfikowane przez właściwe organy, badany miał ocenić, w jakim stopniu zgadza się lub nie z każdym stwierdzeniem dotyczącym załogowej taksówki powietrznej.




**Wykres 6. Zgoda na loty bezzałogowych taksówek powietrznych ponad głową respondenta**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, s. 14.

Następne dwa pytania ukazują potencjalne zainteresowanie korzystaniem z usług załogowych i bezzałogowych taksówek powietrznych. Wykres 7 przedstawia wyniki odpowiedzi na pytanie, czy badany: jako pasażer byłby zainteresowany korzystaniem z załogowych taksówek powietrznych?

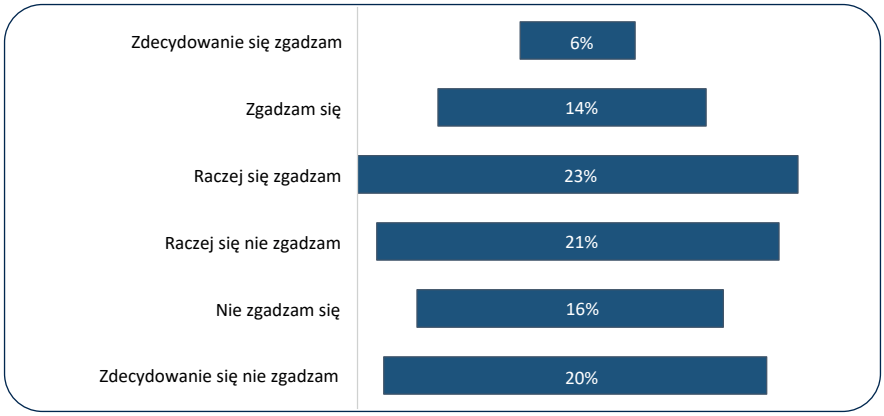



**Wykres 7. Zainteresowanie wypróbowaniem załogowej taksówki powietrznej**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, s. 14.

Załogowe taksówki powietrzne cieszą się większą akceptacją z perspektywy pasażerów (75%) niż pieszych (69%). Rozrzut między wariantami załogowymi i bezzałogowymi jest wyższy wśród pasażerów (32%) niż wśród pieszych (26%), potencjalnie dlatego, że tylko pasażerowie bezpośrednio stykają się z różnymi poziomami automatyzacji podczas wsiadania.

Wykres 8 przedstawia wyniki odpowiedzi na pytanie, czy badany: jako pasażer korzystałby z usługi bezzałogowych taksówek powietrznych?




**Wykres 8. Zainteresowanie wypróbowaniem bezzałogowej taksówki powietrznej**

Źródło: Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, s. 14.

Wyniki uzyskane podczas badań pokazały również, że piesi konsekwentnie czuli się bezpieczniej w obecności załogowych statków powietrznych niż bezzałogowych, niezależnie od ich rozmiaru czy charakterystyki. Dlatego odsetek osób, które czuły się bezpiecznie jako piesi, gdy nad ich głowami przelatywały załogowe taksówki powietrzne (69%), był znacznie większy niż w przypadku bezzałogowych (44%) – niezmiennie wyższy niż odsetek osób, które czuły się komfortowo z bezzałogowymi dronami dostawczymi (56%), jak wskazuje wykres 4. Zgodnie z oczekiwaniami liczba osób, które prawdopodobnie wypróbowałyby załogową taksówkę powietrzną (75%), była wyższa niż liczba osób, które wypróbowałyby tę bezzałogową (43%). Nie jest również zaskoczeniem, że uczestnicy zidentyfikowani jako potencjalni użytkownicy taksówek powietrznych mieli wyższy poziom komfortu wobec załogowych taksówek powietrznych (+13%) niż średnia[12].

## Podsumowanie

Wizja miejskiej mobilności powietrznej stwarza wiele wyzwań. Pomimo tego, że współczesne BSP dysponują możliwością zaprogramowania lotu i sterowania automatycznego, w rzeczywistości cały czas kontrolują je piloci-operatorzy, sterujący systemami pokładowymi. Ponadto na chwilę obecną automatyczny lot jest możliwy w warunkach przewidywalnego środowiska działania, kiedy BSP wykonuje lot bez żadnych zakłóceń radioelektronicznych, przy dobrych warunkach atmosferycznych. Taksówki powietrzne operować będą w terenie zurbanizowanym, gdzie budynki i drzewa będą stanowić przeszkody terenowe i utrudniać operacje lotnicze, dodatkowo powodując zakłócenia sygnału sterowania. Kolejnym wyzwaniem jest kontrolowanie lotu wielu statków w skomplikowanej przestrzeni powietrznej.

Przedmiotem badań była percepcja społeczna dla wprowadzenia miejskich taksówek powietrznych jako środka transportu miejskiego. Cel artykułu został osiągnięty przez wskazanie wyników badania opinii dla wprowadzenia miejskiej mobilności powietrznej. Rezultaty badania nad postrzeganiem programu miejskiej mobilności powietrznej powszechnie pokazały zaufanie i akceptację dla wprowadzenia taksówek powietrznych jako środka komunikacji miejskiej.

Prawdopodobnie akceptacja społeczna będzie miała wpływ na rozwój i wdrożenie miejskiej mobilności powietrznej na obszarach miejskich w Europie. Wykorzystywanie BSP do transportu osób lub towarów w miastach wymaga doskonalenia, aby zapewnić bezpieczeństwo pasażerów oraz osób zamieszkujących obszar operowania taksówek powietrznych.

[12] Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe, European Union Aviation Safety Agency, May 19, 2021, s. 64.

## Bibliografia

Balcerzak T., *Bezpieczeństwo przewozu pasażerów oraz ładunków w jednoosobowych i bezpilotowych statkach powietrznych*, Oficyna Wydawnicza Uczelni Łazarskiego, Warszawa 2024.

Becmer D., Romanek A., *Bezzałogowe Platformy Latające*, Akademia Wojsk Lądowych, Wrocław 2011.

Berner B., Chojnacki J., *Wykorzystanie dronów do transportu towarów*, „Autobusy" 2016, nr 8.

https://dictionary.cambridge.org.

https://www.elektrotechnikautomatyk.pl.

https://www.merriam-webster.com.

https://www.samoloty.pl.

Skóra J., *Pandemia Covid-19 jako główny determinant przeobrażeń w sektorze lotniczym*, [w:] *Bezpieczeństwo w portach lotniczych i morskich*, red. D. Bogusz, K. Ogonowski, A. Rurak, Dęblin 2022.

Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe, European Union Aviation Safety Agency, May 19, 2021.

Urban Air Mobility Survey Evaluation Report, European Union Aviation Safety Agency, Bruksela 2021.

Wrzosek P.J., *Wykorzystanie dronów w zakresie bezpieczeństwa. Nowe rozwiązania z projektu FASTER*, „Przegląd Policyjny" 2022, nr 1(145).

**mgr Julia Skóra**
Federacja Akademii Wojskowych w Gdyni
ORCID: 0000-0002-1243-9825

# Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w zawodach nowoczesnej gospodarki

## The use of unmanned aerial vehicles in modern economy professions

**Streszczenie**
Początkowo bezzałogowe statki powietrzne znajdowały zastosowanie niemal wyłącznie w obszarze militarnym, stanowiąc istotne wsparcie dla działań rozpoznawczych i operacyjnych. Z czasem jednak dostrzeżono ich wysoki potencjał wynikający z szerokiego zakresu możliwych zastosowań, co doprowadziło do stopniowego udostępniania tej technologii także w celach cywilnych. Proces ten wymagał jednak stworzenia odpowiednich regulacji prawnych, które zapewniałyby bezpieczny i zrównoważony rozwój sektora lotnictwa bezzałogowego. Obecnie implementacja systemów BSP odbywa się na wielu płaszczyznach, wywierając istotny wpływ na kształtowanie perspektywicznych kierunków rozwoju gospodarki i życia społecznego. Celem artykułu jest przedstawienie szerokiego spektrum zastosowań bezzałogowych statków powietrznych. Główny problem badawczy wyrażono pytaniem: Jakie korzyści generuje wielopłaszczyznowe wykorzystywanie bezzałogowych statków powietrznych w odniesieniu do ich implementacji w nowoczesnych gałęziach gospodarki? W pracy wykorzystano metodę analizy oraz syntezy. Posłużono się również abstrahowaniem. Zgromadzone dane stały się podstawą do zawnioskowania na temat korzyści wynikających z wdrożenia dronów do gospodarki, a przeprowadzone analizy wskazują, że korzyści są znaczące. Ich wykorzystanie nie tylko zwiększa efektywność realizowanych działań, lecz także przyczynia się do podnoszenia jakości życia społeczeństwa. Kompleksowe zestawienie pozytywnych skutków wdrażania dronów w różnych obszarach aktywności gospodarczej i społecznej ukazuje ich potencjał w generowaniu perspektyw rozwojowych oraz w budowaniu konkurencyjności gospodarki kraju.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe statki powietrzne, gospodarka, technologia, bezpieczeństwo, korzyści

**Abstract**
Initially, unmanned aerial vehicles were used almost exclusively in the military sector, providing significant support for reconnaissance and operational activities. Over time, however, their high potential resulting from a wide range of possible applications was recognized, which led to the gradual availability of this technology for civilian purposes as well. This process, however, required the creation of appropriate legal regulations to ensure the safe and sustainable development of the unmanned aviation sector. Currently, the implementation of UAS systems is taking place on many levels, having a significant impact on shaping the future directions of economic and social development. The aim of this article is to present a wide range of applications for unmanned aerial vehicles. The main research question is: what are the benefits of the multifaceted use of unmanned aerial vehicles in relation to their implementation in modern sectors of the economy? The study used analysis and synthesis methods. Abstraction was also used. The collected data became the basis for conclusions about the benefits of implementing drones in the economy. The research conducted allowed us to conclude that the profits resulting from the use of unmanned aerial vehicles are very high. Not only do they increase the efficiency of all activities carried out, but they also improve the quality of life of people. A comprehensive overview of the positive effects of implementing drones in various areas allows for the generation of long-term opportunities in terms of building the competitiveness of the country's economy.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, economy, technology, safety, benefits

## Wprowadzenie

Człowiek od zarania dziejów dążył do opanowania środowiska naturalnego, zarówno mórz i lądów, jak i przestrzeni powietrznej. Kolejne osiągnięcia cywilizacyjne oraz rozwój nowoczesnych technologii umożliwiały stopniową realizację tych aspiracji, przy czym proces ten pozostaje wciąż dynamiczny i otwarty na dalsze innowacje. Szczególnie istotnym obszarem stało się poszerzanie możliwości operowania w przestrzeni powietrznej, które w konsekwencji doprowadziło do powstania nowego nurtu technologicznego, skoncentrowanego na potencjale bezzałogowych statków powietrznych (BSP).

Początkowo systemy te miały zastosowanie niemal wyłącznie w sferze militarnej, jako narzędzie wspierające działania obronne i rozpoznawcze. Z czasem jednak dostrzeżono ich perspektywiczne możliwości również w sektorze cywilnym, co przyczyniło się do intensywnej popularyzacji tej technologii. Dziś BSP pełnią funkcje w obszarach gospodarczych oraz komercyjnych i działaniach administracji publicznej, stając się jednym z kluczowych elementów współczesnej transformacji przestrzeni powietrznej.

Rozwój technologii lotniczych, w tym BSP, należy postrzegać w szerszym kontekście modernizacji systemu obronnego i przygotowania społeczeństwa do korzystania z nowoczesnych rozwiązań. Współczesne podejście do bezpieczeństwa narodowego obejmuje bowiem nie tylko wdrażanie innowacji technicznych i ram prawnych, ale również rozwój kompetencji społecznych oraz edukacyjnych, takich jak kształcenie przyszłych kadr w zakresie specjalistycznej terminologii wojskowej i przygotowanie do współpracy w strukturach międzynarodowych. Kompleksowe ujęcie wskazuje, że wykorzystanie BSP nie jest zjawiskiem odosobnionym, lecz częścią szerszej transformacji obejmującej różne aspekty funkcjonowania państwa i gospodarki[1].

Dynamiczny rozwój technologii BSP oraz rosnące zainteresowanie ich implementacją w wielu sektorach gospodarki i życia społecznego stworzyły konieczność uregulowania kwestii prawnych związanych z ich użytkowaniem. Regulacje te miały na celu nie tylko minimalizowanie potencjalnych zagrożeń wynikających ze współistnienia lotów załogowych i bezzałogowych w tej samej przestrzeni powietrznej, lecz także zapewnienie przejrzystych zasad określających dopuszczalne formy eksploatacji dronów. Wprowadzenie ram prawnych stało się jednocześnie narzędziem wspierającym rozwój nowego sektora technologicznego, poprzez budowanie zaufania społecznego oraz zachęcanie do szerszego wykorzystania zasobów, jakie oferują systemy BSP.

Bezzałogowe statki powietrzne znalazły szerokie zastosowanie w różnych sektorach gospodarki, stając się jednym z istotnych narzędzi współczesnej transformacji technologicznej. Rozwój tej technologii otwiera nowe perspektywy w kształtowaniu rzeczywistości społeczno-gospodarczej, a zakres jej praktycznego wykorzystania systematycznie się poszerza. Coraz szersza implementacja dronów w przedsięwzięciach o zróżnicowanym charakterze jednoznacznie wskazuje na rosnące zainteresowanie tym rozwiązaniem, a jednocześnie potwierdza wysoki potencjał i dużą elastyczność sektora systemów BSP.

Celem artykułu jest przedstawienie szerokiego spektrum zastosowań BSP. Współcześnie technologia dronów znajduje zastosowanie w coraz większej liczbie przedsięwzięć, co potwierdza jej rosnące znaczenie w wielu sektorach gospodarki. Kluczowe staje się zatem rozpatrzenie istoty ich wdrażania w kontekście wieloaspektowych zysków zarówno ekonomicznych, jak i społecznych. Pojawia się więc zasadnicze pytanie badawcze: Jakie korzyści generuje wielopłaszczyznowe wykorzystywanie bezzałogowych statków powietrznych w odniesieniu do ich implementacji w nowoczesnych gałęziach gospodarki?

[1] D. Bogusz, *Teaching English Military Terminology in Military Classes*, „Safety & Defense" 2017, nr 3, s. 31–36.

W pracy wykorzystano metodę analizy, która pozwoli na określenie poszczególnych zastosowań dronów przy jednoczesnym wskazaniu ich efektywności w odniesieniu do danej dziedziny. Synteza pozwoli na zestawienie faktów dotyczących wpływu wykonywania usług przy użyciu BSP na poszczególne sfery życia, wyodrębnionych uprzednio w procesie abstrahowania, co pozwoli zawnioskować na temat aspektu aktualnych oraz perspektywicznych korzyści wynikających z zastosowania lotnictwa bezzałogowego w zawodach nowoczesnej gospodarki.

## Aspekt prawny użytkowania bezzałogowych statków powietrznych

Szybki postęp technologiczny, szerokie spektrum zastosowań oraz wzrost ogólnej liczby BSP przyczyniły się do opracowania norm, przepisów i procedur regulujących aspekt ich użytkowania. Niezbędne jest wdrażanie kompleksowych regulacji zarówno na poziomie międzynarodowym, europejskim, jak i na szczeblu krajowym. Istotny wpływ na kształtowanie się sektora BSP wywarła publikacja Komisji Europejskiej nosząca tytuł *Nowa era w dziejach lotnictwa*. Szczególne zwrócenie uwagi na potencjał i możliwości rozwojowe BSP zapoczątkowało ciąg intensywnych przemian w kwestii rozwoju strefy legislacyjnej i próby ujednolicania obowiązującego prawa[2]. Bezprecedensowo osiągnięcia technologiczne będą zawsze znacząco wyprzedzać wprowadzane normy, dlatego tak ważna jest dokładana analiza trendów rozwojowych, aby dostosowywać wdrażane regulacje. Odpowiednie ich sporządzenie wpływa również na chęć wykorzystywania technologii BSP.

Początkowe aspekty skupiające się na możliwości wykorzystania BSP wraz uwzględnieniem szerokich ram bezpieczeństwa poruszone zostały w 2005 r. na 169 Sesji Komisji Żeglugi Powietrznej[3]. Istotnym krokiem w kwestii kształtowania się środowiska użytkowania BSP było sprecyzowanie roli ICAO. Według ustaleń zdefiniowano, iż będzie to organ odpowiedzialny za kształtowanie prawnych ram strategicznych i regulacyjnych[4]. Szerokie zalecenia uwzględniał również okólnik ICAO opublikowany w 2011 r. przez Grupę Roboczą. Zawarto w nim niezbędną terminologię oraz wyszczególniono wymagania dotyczące zarządzania bezpieczeństwem[5].

Istotny wpływ na kształtowanie międzynarodowego spojrzenia w dziedzinie użytkowania BSP wywarło utworzenie stałego panelu ds. BSP

[2] A. Konert, *Prawne aspekty użytkowania bezzałogowych statków powietrznych*, Oficyna Wydawnicza Uczelni Łazarskiego, Warszawa 2021, s. 7.

[3] ICAO, *Cir 328*, Unmanned Aircraft Systems (UAS), 2011, s. 10.

[4] A. Konert, *Prawne...*, dz. cyt., s. 23.

[5] Tamże, s. 24.

(*Remotely Piloted Aircraft Systems Panel*). Zakres działań w tym wypadku obejmował sporządzanie regulacji oraz opracowywanie propozycji zmian i innowacji w zakresie załączników do konwencji chicagowskiej[6]. Ponadto efektem prac ICAO była publikacja podręcznika, w którym analizie poddano systemy BSP (*Manual on Remotely Piloted Aircraft System*, Doc 10019).

Szybki postęp technologiczny zdeterminował potrzebę wieloaspektowego podejścia do przystosowywania przestrzeni powietrznej względem nowych wymagań. Co najważniejsze, ogólne założenia publikacji skupiały się w swojej istocie przede wszystkim na potrzebie utrzymania prawidłowego poziomu bezpieczeństwa[7]. W podręczniku poświęcono wiele uwagi kwestii identyfikacji potencjalnych zagrożeń wraz ze sposobami ich ograniczania. W 2017 r. w ramach działalności ICAO wydano publikację RPAS Concept of Operation, która stanowiła swoistą koncepcję operacyjną dedykowaną jedynie certyfikowanym BSP, a jej istota skupiła się na aspekcie kooperacji zarówno lotnictwa załogowego, jak i bezzałogowego[8].

Unia Europejska, w związku z szybkim rozwojem technologicznym dotyczącym stricte BSP, podjęła szereg działań zmierzających do redukcji dysproporcji oraz odchyleń w prawie. Nie ulega wątpliwości, iż braki w tej dziedzinie wpływały znacząco na możliwości rozwojowe sektora. Niezbędną kwestią było skonfrontowanie aktualnego poziomu technologicznego oraz wymagań przez niego generowanych względem obowiązujących unormowań. Przedsięwzięcia prowadzone w tym kierunku pozwoliły na opracowanie w 2005 r. „Europejskiej mapy drogowej rozwoju cywilnych bezzałogowych statków powietrznych"[9]. Wzrost zainteresowania wykorzystaniem dronów w wielu dziedzinach gospodarczych zdeterminował potrzebę ustosunkowania regulacji względem nowych potrzeb. W istocie, głównym celem działań Unii Europejskiej było ujednolicenie prawa, co generowało wiele korzyści w aspekcie perspektywicznego rozwoju sektora, a także utrzymania prawidłowego poziomu bezpieczeństwa[10]. Sporządzone regulacje zastąpiły dotychczas stosowane przepisy i procedury krajowe.

Regulacje dotyczące BSP w Unii Europejskiej mają charakter kompleksowy i obejmują zarówno przepisy ramowe, jak i szczegółowe rozporządzenia wykonawcze oraz delegowane. Podstawowym aktem prawa unijnego, który wyznacza ramy prawne w tej dziedzinie, jest Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie

---

6 Tamże, s. 25.

7 A. Masutti, F. Tomasello, *International regulation of Non-Military Drones*, Edward Elgar, Cheltenham–Northampton 2018, s. 45.

8 A. Konert, *Prawne...*, dz. cyt., s. 27.

9 European Civil Unmanned Air Vehicle Roadmap, Volume 2 – Action Plan, 2005.

10 A. Konert, *Prawne...*, dz. cyt., s. 28–29.

wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA). Rozporządzenie to określa podstawowe zasady bezpieczeństwa lotnictwa cywilnego w UE, a także wprowadza ramy prawne dla systemów BSP. W wersji skonsolidowanej z dnia 25 maja 2025 r. akt ten obejmuje zmiany wprowadzone m.in. przez Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2021/1087 z dnia 7 kwietnia 2021 r., Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2803 z dnia 23 października 2024 r. oraz Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2025/870 z dnia 28 lutego 2025 r. Szczególne znaczenie mają tu przepisy sekcji VII (art. 55–58) oraz załącznika IX, które zostały poświęcone właśnie BSP.

Kluczowym aktem wykonawczym uzupełniającym regulacje ogólne jest Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r., stosowane od 31 grudnia 2020 r. Rozporządzenie to ustanawia szczegółowe przepisy dotyczące eksploatacji systemów BSP, a także wymogi wobec personelu, w tym pilotów oraz organizacji prowadzących operacje z ich użyciem. Wersja skonsolidowana z 1 maja 2025 r. obejmuje kolejne akty nowelizujące, m.in. Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2020/639, 2020/746, 2021/1166, 2022/425, 2022/525 oraz 2024/1110. Dzięki temu ramy prawne dotyczące operacji BSP w Unii Europejskiej są stale dostosowywane do zmieniających się realiów technicznych i potrzeb rynkowych[11].

Nierozerwalnie z rozporządzeniem 2019/947 związane jest Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r., które w wersji skonsolidowanej z 1 maja 2025 r. obejmuje zmiany wynikające z aktów takich jak Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2020/1058 oraz 2024/1108. Regulacja ta dotyczy wymogów związanych z projektowaniem i produkcją systemów BSP oraz elementów służących zdalnej identyfikacji. Ponadto określa ona kategorie systemów, które wymagają certyfikacji, a także warunki swobodnego wprowadzania ich do obrotu na rynku wewnętrznym Unii Europejskiej. Rozporządzenie to zawiera również przepisy dotyczące operatorów z państw trzecich, którzy chcą prowadzić operacje na terytorium UE.

System regulacyjny UE w odniesieniu do BSP został dodatkowo wzmocniony poprzez przyjęcie w latach 2024–2025 kolejnych aktów uzupełniających. Wśród nich znajdują się m.in. Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2024/1107 z dnia 13 marca 2024 r., które reguluje kwestie ciągłej zdatności do lotu certyfikowanych systemów BSP, a także Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2024/1109 z dnia 10 kwietnia 2024 r., określające zasady certyfikacji, nadzoru i egzekwowania przepisów w tym zakresie.

[11] https://ulc.gov.pl/drony/informacje-ogolne/akty-prawne [dostęp: 6.06.2025].

Jednocześnie Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2024/1110 zmienia rozporządzenie 2019/947, a Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2024/1111 rozszerza przepisy na operacje VTOL wykonywane przez statki powietrzne zdolne do pionowego startu i lądowania[12].

Znaczącą rolę w interpretacji i stosowaniu przepisów odgrywają także materiały przygotowywane przez EASA. Kluczowym dokumentem są tzw. Akceptowalne sposoby spełnienia wymagań (AMC) oraz materiały zawierające wytyczne (GM) do rozporządzenia 2019/947, wprowadzone decyzją Dyrektora Wykonawczego EASA nr 2019/021/R z dnia 9 października 2019 r. i następnie aktualizowane decyzjami 2020/022/R, 2022/002/R oraz 2023/012/R. Dokumenty te nie stanowią prawa w ścisłym znaczeniu, lecz ułatwiają praktyczne wdrażanie przepisów, prezentując możliwe sposoby ich spełnienia. Równolegle EASA publikuje materiały o charakterze praktycznym, takie jak Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (wersja z lipca 2024 r.), zawierające skonsolidowane przepisy oraz wytyczne stosowania prawa w zakresie BSP.

W kontekście implementacji regulacji unijnych do prawa krajowego istotne znaczenie ma Ustawa Prawo lotnicze z dnia 3 lipca 2002 r. Zmiana wprowadzona ustawą z dnia 24 stycznia 2025 r. (Dz.U. z 2025 r. poz. 179) dostosowuje przepisy prawa krajowego do rozwiązań przewidzianych w aktach prawa UE, dotyczących BSP.

Polska praktyka stosowania przepisów uzupełniana jest ponadto przez wytyczne wydawane przez Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC). Do najnowszych należą m.in. Wytyczne nr 1/2025 dotyczące egzaminów teoretycznych dla pilotów BSP, Wytyczne nr 4/2025 dotyczące wyznaczania stref geograficznych, czy Wytyczne nr 8/2025 w sprawie procedury wydawania zezwoleń na operacje w kategorii „szczególnej". Ważną rolę odgrywają również Krajowe Scenariusze Standardowe (NSTS), określone w wytycznych Prezesa ULC z 2023 r., które precyzują warunki wykonywania operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) oraz poza tym zasięgiem (BVLOS)[13].

Podsumowując, system prawny dotyczący użytkowania BSP w Unii Europejskiej ma charakter wielopoziomowy i obejmuje zarówno przepisy ogólne określone w rozporządzeniu 2018/1139, jak i przepisy szczegółowe zawarte w rozporządzeniach 2019/947 i 2019/945 oraz w licznych aktach zmieniających i uzupełniających. Dopełnieniem regulacji są wytyczne EASA i krajowe wytyczne Prezesa ULC, które zapewniają praktyczne narzędzia do stosowania prawa w dynamicznie rozwijającej się dziedzinie lotnictwa bezzałogowego.

[12] Tamże.

[13] Tamże.

## Możliwości wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych

Początkowo BSP znajdowały zastosowanie niemal wyłącznie w obszarze militarnym, stanowiąc istotne wsparcie dla działań rozpoznawczych i operacyjnych[14]. Z czasem jednak dostrzeżono ich wysoki potencjał wynikający z szerokiego zakresu możliwych zastosowań, co doprowadziło do stopniowego udostępniania tej technologii także w celach cywilnych. Proces ten wymagał jednak stworzenia odpowiednich regulacji prawnych, które zapewniałyby bezpieczny i zrównoważony rozwój sektora lotnictwa bezzałogowego. Obecnie implementacja systemów BSP odbywa się na wielu płaszczyznach, wywierając istotny wpływ na kształtowanie perspektywicznych kierunków rozwoju gospodarki i życia społecznego.

Zastosowanie BSP pozwala na ograniczenie udziału człowieka w przedsięwzięciach szczególnie niebezpiecznych, monotonnych bądź wymagających wysokiego stopnia specjalistycznych umiejętności w związku ze złożonością realizowanych zadań. Rozwiązanie to znacząco podnosi poziom bezpieczeństwa, minimalizując ryzyko strat w ludziach, a jednocześnie umożliwia utrzymanie wysokiej efektywności prowadzonych działań.

Ogół operacji, które realizowane są w określonych zawodach w gospodarce, podlega klasyfikacji skupiającej się na wieloaspektowym odniesieniu do szeroko rozumianego progu trudności. W odniesieniu do wspomnianego podziału wyróżnia się przedsięwzięcia określane mianem „nużących, brudnych oraz niebezpiecznych" (*dull*, *dirty*, *dangerous*, „3d")[15]. Niekiedy jednak dane zestawienie poszarzane jest o aspekt operacji głębokich „deep"[16]. Zainicjowanie próby nowego postrzegania przedsięwzięć o szczególnym charakterze jest możliwe dzięki implementacji technologii BSP w poszczególne obszary. W tym aspekcie ich zastosowanie znacząco przyczynia się do wyeliminowania czynnika ludzkiego z działań noszących miano monotonnych czy też nudnych[17]. Należy zaznaczyć, iż udział w tego typu misjach powoduje szybkie wypalenie się bądź też zmęczenie podmiotów za nie odpowiedzialnych. Taki stan rzeczy generuje potrzebę stałej wymiany składu osobowego w celu utrzymania względnego poziomu efektywności prowadzonych działań. W działaniach „brudnych" wykorzystywanie dronów

[14] M. Moj, *Status prawny cywilnych bezzałogowych statków powietrznych i ograniczenia związane z wykonywaniem lotów przez cywilne bezzałogowe statki powietrzne*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2015, s. 236.

[15] ICAO, *Cir 328*, dz. cyt., s. 8.

[16] T. Zieliński, *Bezzałogowe systemy powietrzne w działaniach ekspedycyjnych*, Warszawa 2010, s. 54; Joint Doctrine Note 2/11. The UK Approach to Unmanned Aircraft Systems, s. 3–6.

[17] M. Moj, *Status...*, dz. cyt., s. 237.

umożliwia redukcję udziału człowieka, co znacząco ogranicza wpływ negatywnych czynników wyznaczanych przez indywidulany charakter misji. Istotną kwestią jest odniesienie do obszaru zadań niebezpiecznych. W tym wypadku zastosowanie dronów redukuje możliwość utraty zdrowia oraz życia przez zaangażowanych ludzi. Przy wykorzystaniu BSP możliwa jest również realizacja zadań określanych mianem „głębokich". Daje to możliwość prowadzenia czynności w obszarach trudsno dostępnych lub całkowicie ograniczonych dla innych maszyn[18]. Przedstawiony aspekt odnosi się niejako do kwestii ograniczania zagrożeń względem człowieka, ale także poszerzania gamy przedsięwzięć o działania wcześniej niemożliwe do realizacji.

Wykorzystywanie BSP przejawia się w wielu sektorach gospodarczych. Niemniej jednak istotną rolę w ogólnym kształtowaniu postrzegania roli dronów jest rozlokowanie ich zasobów względem obszarów obejmujących badania naukowe: zarządzanie i zapobieganie katastrofom, ochrona środowiska, bezpieczeństwo i porządek publiczny, misje komunikacyjne oraz zabezpieczenie strategiczne infrastruktury[19]. Przedstawiony podział zwraca uwagę nie tylko na kwestie szerokiego wykorzystywania BSP umożliwiającego ubogacanie zaplecza naukowego, ale także na ich istotny wpływ kształtujący sferę bezpieczeństwa.

W aspekcie prac naukowych BSP odegrały istotną rolę w procesie badania atmosfery. W 2002 r. dzięki pozyskanym danym możliwe było wnioskowanie na temat jej zmienności[20]. Nie ulega wątpliwości, że takie przedsięwzięcia wpływają na rozwój sektora badawczego, który stanowi ogniwo rozwojowe cywilizacji.

Idea rozwiązań skupia się również na kwestii prognozowania pogody. W tym aspekcie wykorzystuje się drony wyposażone w aparatury meteorologiczne umożliwiające przewidywanie groźnych zjawisk pogodowych. Należy również zaznaczyć fakt, iż BSP, dzięki badaniom i analizom warstwy atmosfery od 0 do 350 m n.p.m., przyczyniły się do poprawy rzetelności danych gromadzonych przez balony pogodowe[21].

BSP znajdują zastosowanie również w kwestii badań aktywności wulkanów, co umożliwia eliminację czynnika ludzkiego z działań o dużym stopniu zagrożenia[22]. Ponadto potencjał dronów wykorzystywany jest świetle badań oceanograficznych. Eksploatacja wód ziemskich wymaga użycia szerokiej gamy rozwiązań w celu ich głębszego poznania, dlatego ich zastosowanie jest niezwykle istotne.

---

18 Tamże, s. 236–237.

19 Tamże, s. 238.

20 A. Kuptel, *Zastosowanie bezzałogowych systemów powietrznych w aspekcie militarnym*, Warszawa 2014, s. 104.

21 P. Guest, T. Vaneck, *Meteorological Measurements from an Unmanned Aerial Vehicle*, „Cruser News" 2013, nr 25, s. 3.

22 M. Moj, *Status...*, dz. cyt., s. 239–240.

W związku ze zmianami klimatycznymi oraz naturalnym charakterem środowiska notuje się wiele niekorzystnych zjawisk, takich jak nagłe huragany, trąby powietrzne oraz pożary. W aspekcie tych zagrożeń istotne jest wykorzystywanie dronów w celach dokładnego badania zachodzących zjawisk przy uwzględnieniu zarówno chemicznych, jak i fizycznych czynników mających na nie wpływ[23].

Ponadto do zadań realizowanych przy wykorzystaniu BSP zalicza się obserwacje aktywności sejsmicznej czy też prowadzenie analiz skupiających się na określaniu poziomu skażenia na danych obszarach. W drugim wypadku ma to równie istotne znaczenie, ponieważ możliwe jest zgromadzenie danych bez ryzyka utraty życia lub zdrowia ludzi.

Lotnictwo bezzałogowe predysponowane jest również do przeciwdziałania oraz obserwacji różnorodnych zagrożeń, w tym pożarów. Podstawowym zadaniem jest sporządzanie map cieplnych dzięki zastosowaniu kamer termowizyjnych. Takie rozwiązanie umożliwia prowadzenie skutecznych działań ukierunkowanych na ograniczanie tego typu zjawisk na terenach newralgicznych, czyli szczególnie podatnych na zaprószenie ognia[24]. W tym aspekcie w Stanach Zjednoczonych wdrożono projekt FIRE skupiający się na kwestii kontroli obszarów objętych pożarami. Do realizacji tego celu niezbędne było dopracowanie systemu przekazującego rzeczywisty obraz terenu objętego działaniem żywiołu, co umożliwiło ponadto lokalizowanie źródeł ognia[25]. Niemniej jednak drony znajdują zastosowanie również w przypadku działań gaśniczych. Technologia BSP pozwala na wykonywanie zadań ukierunkowanych na szacowanie wstępnych strat będących skutkiem oddziaływania żywiołów. Dzięki nim możliwe jest sporządzanie mapy terenu obejmującej obszary szczególnie dotknięte. Obserwacja niekorzystnych uwarunkowań pomaga zlokalizować potencjalne szkody i zniszczenia zarówno w obszarach aglomeracji miejskich, jak i na terenach dzikich, co umożliwia chociażby perspektywiczne odbudowanie drzewostanów.

Postęp technologiczny w dziedzinie możliwości wykorzystywania BSP w celach cywilnych zdeterminował myśl skupiającą się na kwestii podnoszenia efektywności działań ratowniczych oraz poszukiwawczych. W działaniach ukierunkowanych na odnalezienie osób zaginionych wykorzystuje się

---

[23] S. Wegener i in., *Autonomous Operations for Airborne Science Missions*, „American Institute of Aeronautics and Astronautics" September 2004, s. 1–10; http://ti.arc.nasa.gov/m/profile/frank/aiaa_wegener.pdf [dostęp: 1.06.2025].

[24] https://enterprise.dji-ars.pl/zastosowania-w-bezpieczenstwie-publicznym [dostęp: 1.06.2025].

[25] Szerzej zob. V. Ambrosia i in., *Demonstrating UAV-Aquired Real-Time Thermal Data over Fires*, „Photogrammetric Engineering & Remote Sensing" 2003, t. 69, nr 4, s. 391–402.

sprzęt wyposażony w kamery termowizyjne oraz zoom 200x. Takie rozwiązanie daje bezprecedensowo większe szanse na powodzenie misji, gdyż działania mogą być prowadzone z wysoką skutecznością również w nocy. Wyposażenie dronów w defibrylatory umożliwia udzielnie szybkiej pomocy medycznej w wypadku, gdy dana jednostka będzie jej wymagała[26].

W aspekcie przeciwdziałania zagrożeniom środowiskowym istotne jest podejmowanie działań w płaszczyźnie dokonywania analiz oraz wykrywania szkodników atakujących drzewostany. Dzięki kamerom multispektralnym możliwe jest również prowadzenie identyfikacji potencjalnych chorób drzew. Co najważniejsze, działanie to opiera się na określaniu zawartości chlorofilu lub współczynnika wegetacji[27].

Ważne jest również rozdysponowanie potencjału BSP w obrębie działań skupiających się na ochronie środowiska naturalnego. Zjawisko zanikania bioróżnorodności zdeterminowało potrzebę zastosowania dronów w celach analitycznych, gdzie przedmiotem badań jest liczebność zwierząt w odniesieniu do poszczególnych gatunków[28].

Technologia pozwala ponadto na skuteczne zarządzanie gospodarką leśną. W tym wypadku wykonuje się chociażby monitoring aktualnych drzewostanów. Istotnym aspektem wpływającym nie tylko walory środowiskowe, ale również na jakość życia ludzi jest wykorzystywanie BSP w celu nadzorowania upraw rolnych. Dzięki temu możliwe jest wykrywanie szkodników lub też chorób roślinności. Nierozłączną kwestią jest również kontrola żyzności gleby, a także precyzyjne nawożenie[29].

Ponadto drony wykorzystuje się do skutecznej obserwacji emisji zanieczyszczeń. W kwestii monitorowania smogu BSP wyposażone są w specjalistyczne czujniki pozwalające na lokalizowanie źródeł ich wydobywania[30].

W odniesieniu do zachowania prawidłowego poziomu bezpieczeństwa oraz ogólnego porządku publicznego prowadzone są działania polegające na patrolowaniu granic państwowych oraz na zabezpieczaniu obszarów o dużym nagromadzeniu ludności. Istotną rolę odgrywa monitorowanie ruchu drogowego[31]. Drony przystosowane są do zbierania dokumentacji z miejsc wypadków. Zgromadzony w ten sposób materiał może zostać

---

26 https://enterprise.dji-ars.pl/zastosowania-w-bezpieczenstwie-publicznym [dostęp: 1.06.2025].

27 https://enterprise.dji-ars.pl/zastosowania-w-rolnictwie [dostęp: 1.06.2025].

28 L. Harriman, J. Muhlhausen, *A new eye in the sky: Eco-drones*, UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS), 2013, s. 1.

29 https://enterprise.dji-ars.pl/zastosowania-w-rolnictwie [dostęp: 1.06.2025].

30 https://enterprise.dji-ars.pl/zastosowania-w-bezpieczenstwie-publicznym [dostęp: 1.06.2025].

31 M. Moj, *Status...*, dz. cyt., s. 251.

wykorzystany chociażby w śledztwach[32]. Lotnictwo bezzałogowe może zostać wykorzystane w ramach nadzoru wybrzeża[33]. Ma to istotne znaczenie w kwestii zabezpieczenia terenu przed nieuprawnioną działalnością.

Dla utrzymania ciągłości prawidłowego funkcjonowania państwa niezbędne jest zabezpieczanie wielu obiektów strategicznych. W tym wypadku działania wykorzystujące BSP skupiają się na monitoringu gazociągów i ropociągów[34]. Takie uwarunkowania pozwalają zastąpić patrole piesze[35], co znacznie przyspieszyłoby lokalizacje ewentualnych usterek czy też awarii.

Oprócz przytoczonych przykładów literatura podaje inne możliwości wykorzystania dronów. Jest to transport paczek i ładunków oraz zastosowanie dronów jako swoistych przekaźników komunikacyjnych[36]. W tym aspekcie mogłyby zostać wykorzystane jako satelity dodatkowe lub zastępcze.

Wykorzystywanie lotnictwa bezzałogowego w tak wielu przedsięwzięciach znacząco przyczynia się wzrostu efektywności prowadzonych działań. Niemniej jednak drony znajdują zastosowanie również w nagłych sytuacjach, czego przykładem jest ich implementacja w zadania realizowane w czasie pandemii SARS-CoV-2. Szerzące się na dużą skalę zapotrzebowanie na testy potwierdzające zarażenie wirusem predysponowało do wykorzystania ich w celach transportowych. Z tego względu wykonywano loty pilotażowe pomiędzy szpitalami, które w odpowiedni sposób zabezpieczyły niezbędne zaplecze materiałowe[37]. W trosce o bezpieczeństwo obywateli wdrożono również działania skupiające się na odkażaniu przestrzeni publicznych oraz monitoringu prowadzonego przy pomocy BSP.

Przedstawione aspekty dowodzą, iż skala możliwości wykorzystywania bezzałogowych platform powietrznych jest niezwykle szeroka. Wysoki potencjał dronów determinowany jest również poprzez możliwość adaptacji względem zmiennych zapotrzebowań. Dzięki ich wdrożeniu w działania charakterystyczne dla poszczególnych zawodów w gospodarce możliwa jest realizacja przedsięwzięć podnoszących jakość życia obywateli.

---

32 https://enterprise.dji-ars.pl/zastosowania-w-bezpieczenstwie-publicznym [dostęp: 1.06.2025].

33 M. Moj, *Status*..., dz. cyt., s. 251.

34 Tamże, s. 265.

35 D. Hausamann i in., *Monitoring of gas transmission pipelines – a civil UAV application*, „Aircraft Engineering and Aerospace Technology" October 2005, t. 77, s. 352–360.

36 M. Moj, *Status*..., dz. cyt., s. 269–271.

37 https://www.biuletyn.pw.edu.pl/Przeglad-prasowy/Testy-dronow-w-walce-z-koronawirusem [dostęp: 1.06.2025].

## U-Space jako przestrzeń do rozwoju i udoskonalania rynku dronów

Od zarania dziejów ludzkość dążyła do opracowywania rozwiązań podnoszących jakość życia, a zarazem zwiększających poziom bezpieczeństwa. Jednym z narzędzi, które w sposób szczególny realizują te cele, są BSP. Zakres korzyści wynikających z ich wykorzystania systematycznie rośnie, co związane jest z coraz szerszą implementacją dronów w różnych sektorach gospodarki i życia społecznego.

W odpowiedzi na narastające zainteresowanie tą technologią oraz konieczność poszerzania spektrum jej zastosowań opracowano koncepcję U-Space. Jej istotą jest stworzenie zestawu rozwiązań umożliwiających skuteczne i bezpieczne zarządzanie przestrzenią powietrzną, w której współistnieją operacje statków załogowych i bezzałogowych[38]. Wdrożenie U-Space stanowi fundament dla dynamicznego rozwoju sektora lotnictwa bezzałogowego, oferując jednocześnie szerokie możliwości w zakresie wzrostu gospodarczego, a także poszerzania i doskonalenia usług świadczonych z wykorzystaniem BSP.

Głównym założeniem koncepcji U-Space jest integracja lotnictwa załogowego i bezzałogowego w taki sposób, aby zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa operacji w przestrzeni powietrznej. Podstawą realizacji tego celu w Polsce jest funkcjonowanie systemu PANSA UTM, którego działanie opiera się na idei cyfrowej koordynacji lotów. Rozwiązanie to umożliwia bieżącą wymianę danych między użytkownikami przestrzeni a instytucjami odpowiedzialnymi za jej nadzór, co zwiększa płynność i bezpieczeństwo wykonywanych operacji[39]. Koncepcja U-Space zakłada wieloaspektowe podejście do racjonalnego zarządzania przestrzenią powietrzną, dostosowanego do dynamicznie rozwijającego się rynku usług dronowych. Coraz większe możliwości wykorzystania BSP oraz ich stale rosnący potencjał stały się podstawą opracowywania interdyscyplinarnej infrastruktury, łączącej aspekty techniczne, prawne i organizacyjne[40].

Determinantem przewidywanego całościowego sukcesu koncepcji U-Space jest umiejętne dostosowywanie regulacji prawnych oraz racjonalne zarządzanie przestrzenią powietrzną, prowadzone równolegle z efektywnym wykorzystaniem potencjału szerokiego spektrum usług świadczonych z użyciem BSP[41].

---

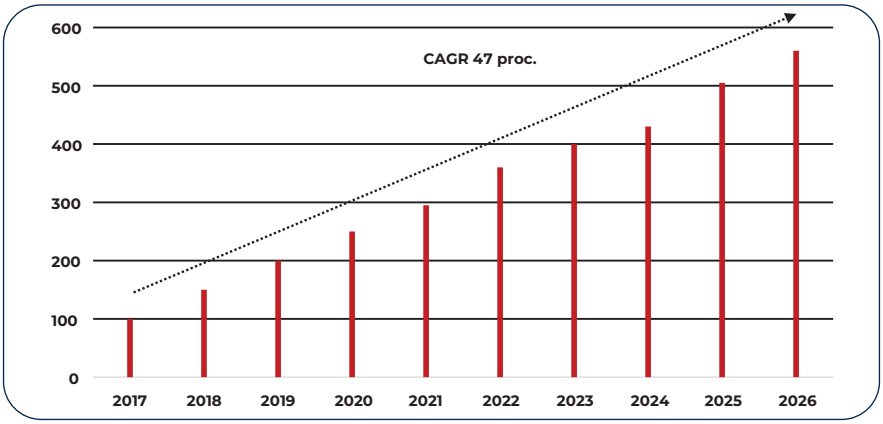
[38] https://www.ulc.gov.pl/_download/bezpieczenstow_lotow/prezentacje-2014/07-Drony-w-Polsce-szanse-i-zagrozenia-18_04_2018_Paweł_Szymanski.pdf [dostęp: 1.06.2025].

[39] https://www.pansa.pl/u-space [dostęp: 1.06.2025].

[40] https://www.ulc.gov.pl/_download/bezpieczenstow_lotow/prezentacje-2014/07-Drony-w-Polsce-szanse-i-zagrozenia-18_04_2018_Paweł_Szymanski.pdf [dostęp: 1.06.2025].

[41] M. Daronowska, K. Kutwa, *Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa 2019, s. 9.

Doskonalenie efektywności działań w obszarze ochrony środowiska, podnoszenie jakości życia obywateli oraz wieloaspektowe podejście do kwestii bezpieczeństwa stanowią kluczowe elementy wizji towarzyszącej koncepcji U-Space. Niemniej jednak, wdrożenie koncepcji U-Space umożliwia generowanie wymiernych i znaczących korzyści gospodarczych. Innowacyjne podejście do implementacji usług realizowanych z wykorzystaniem BSP w ramach struktur pańs twowych stanowi istotny element perspektywicznego postrzegania rozwoju gospodarki. W literaturze przedmiotu wskazuje się, że w perspektywie roku 2026 nastąpi znaczący wzrost wartości rynku BSP, co będzie konsekwencją dążenia do zwiększania efektywności podejmowanych przedsięwzięć przy jednoczesnym generowaniu wyższych zysków. Prognozy te, zaprezentowane w opracowaniach z 2019 r., obejmują analizę trendów obserwowanych od 2017 r. i przewidywanych do 2026 r. Tendencję tę zilustrowano na wykresie 1.

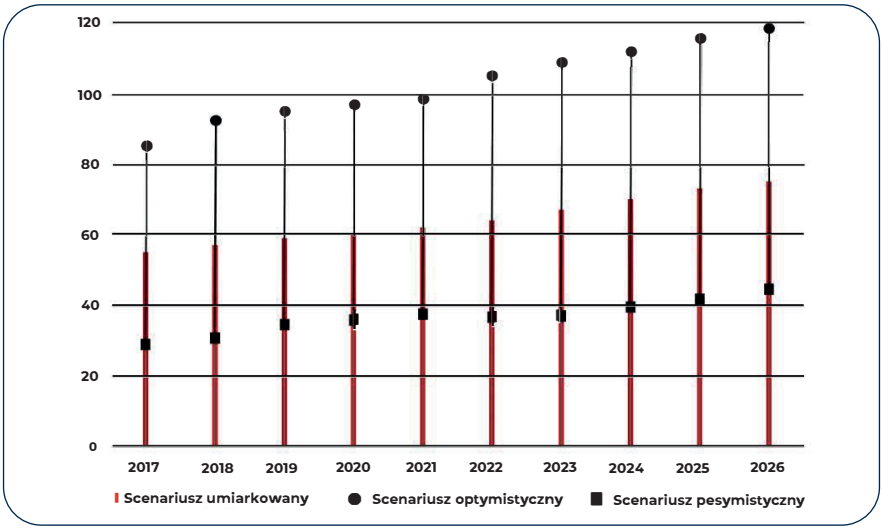



**Wykres 1. Szacowany wzrost wartości polskiego rynku dronów do roku 2026**

Źródło: M. Daronowska, K. Kutwa, *Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa 2019, s. 52.

Koncepcja U-Space stanowi istotny impuls dla dalszego, dynamicznego rozwoju sektora BSP. Jej założenia przekładają się bezpośrednio na możliwość budowania przewagi konkurencyjnej gospodarki poprzez ułatwienie i upowszechnienie świadczenia usług realizowanych z wykorzystaniem dronów. Wraz ze wzrostem zakresu ich zastosowań można również prognozować rozwój krajowej gałęzi produkcji systemów BSP, co dodatkowo wzmocni potencjał innowacyjny i gospodarczy państwa.

Na wykresie 2 zaprezentowano prognozowany wzrost gospodarczy w Polsce, wyrażony w miliardach złotych, opracowany w oparciu o trzy możliwe scenariusze rozwoju rynku BSP. W wariancie optymistycznym przyjęto 65% udziału dronów produkcji krajowej, w scenariuszu umiarkowanym 50%, natomiast w scenariuszu pesymistycznym udział ten oszacowano na poziomie 35%[42].




**Wykres 2. Scenariusze rozwoju rynku dronów w Polsce**

Źródło: M. Daronowska, K. Kutwa, *Biała Księga*..., dz. cyt., s. 65.

Przedstawione analizy potwierdzają, że wieloaspektowe zastosowanie BSP w nowoczesnych sektorach gospodarki stanowi nie tylko znaczący postęp technologiczny, podnoszący jakość życia i poziom bezpieczeństwa obywateli, lecz także ważny czynnik kształtujący oraz wzmacniający konkurencyjność krajowej gospodarki. Wykorzystanie innowacyjnych technologii pozwoli nie tylko na dalsze unowocześnianie państwa, ale również na zwiększenie efektywności jego funkcjonowania.

## Podsumowanie

Udostępnienie nowoczesnych technologii wojskowych na potrzeby cywilne otworzyło szerokie możliwości rozwoju w zakresie nowych usług. Wykorzystanie potencjału BSP w sektorach nowoczesnej gospodarki wywiera istotny wpływ na kształtowanie życia publicznego. Dynamiczny wzrost zainteresowania dronami wymagał wprowadzenia jednolitych norm prawnych,

[42] Tamże, s. 65.

które miały stworzyć stabilne warunki dla dalszego rozwoju sektora. Szczególne znaczenie odegrały prace nad integracją lotnictwa załogowego i bezzałogowego, ukierunkowane na opracowanie zasad racjonalnej i bezpiecznej koordynacji przestrzeni powietrznej. Potencjał BSP doprowadził do konieczności opracowania interdyscyplinarnej koncepcji infrastruktury U-Space, której założenia koncentrują się na wspieraniu perspektywicznego rozwoju gospodarczego państwa.

BSP znajdują zastosowanie w coraz szerszym spektrum nowoczesnych sektorów gospodarki, a zakres ich potencjalnych zastosowań systematycznie się poszerza. W niniejszej pracy przedstawiono wybrane przedsięwzięcia, które ukazują ogólne oraz wieloaspektowe możliwości zastosowania technologii dronów.

Zastosowanie BSP w nowoczesnych sektorach gospodarki generuje znaczące korzyści. Umożliwiają one podnoszenie wydajności i efektywności prowadzonych działań, co ma kluczowe znaczenie m.in. w obszarze ratowania życia ludzkiego. Potencjał BSP obejmuje jednak również wiele innych kategorii zastosowań. Wysoka skuteczność realizowanych zadań wynika m.in. z ograniczenia liczby błędów charakterystycznych dla przedsięwzięć wykonywanych przy bezpośrednim udziale człowieka. Do wieloaspektowych korzyści należy także poszerzenie zakresu możliwych do realizacji zadań o te, które mogą być wykonywane wyłącznie przy użyciu technologii BSP. Bezzałogowe statki powietrzne znajdują zastosowanie zwłaszcza w warunkach szczególnie niebezpiecznych oraz w obszarach, gdzie specyficzne uwarunkowania wykluczają wykorzystanie zasobów ludzkich bądź tradycyjnych maszyn.

Zastosowanie technologii BSP w istotny sposób przyczynia się do podnoszenia poziomu bezpieczeństwa, m.in. poprzez eliminację udziału człowieka w zadaniach szczególnie zagrażających zdrowiu i życiu. Elastyczność tego sektora względem zmieniających się potrzeb została wyraźnie dostrzeżona podczas pandemii SARS-CoV-2, kiedy drony wspierały działania ukierunkowane na ograniczenie transmisji wirusa. Technologia ta znajduje również zastosowanie w obszarze ochrony środowiska naturalnego, które podlega ciągłej degradacji.

Wdrażanie BSP w różnorodne przedsięwzięcia sprzyja wzrostowi konkurencyjności gospodarki, m.in. poprzez rozwój rynku bezzałogowych platform oraz tworzenie nowych miejsc pracy. W tym zakresie szczególne znaczenie ma koncepcja U-Space, ukierunkowana na koordynację przestrzeni powietrznej i zapewnienie warunków sprzyjających dynamicznemu rozwojowi sektora. Wygenerowane w ten sposób dodatkowe wpływy budżetowe mogą przyczynić się do podniesienia jakości życia obywateli.

## Bibliografia

Ambrosia V. i in., *Demonstrating UAV-Aquired Real-Time Thermal Data over Fires*, „Photogrammetric Engineering & Remote Sensing" 2003, t. 69, nr 4.

Arjomandi M., *Classification of Unmanned Aerial Vehicles*, The University of Adelaide, b.m.w., b.r.w.

Bogusz D., *Teaching English Military Terminology in Military Classes*, „Safety & Defense" 2017, nr 3.

Daronowska M., Kutwa K., *Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa 2019.

European Civil Unmanned Air Vehicle Roadmap, Volume 2 – Action Plan, 2005.

Feltynowski M., *Wykorzystanie bezzałogowych platform latających na rzecz bezpieczeństwa publicznego*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2019.

Guest P., Vaneck T., *Meteorological Measurements from an Unmanned Aerial Vehicle*, „Cruser News" 2013, nr 25.

Gugała T., Żurek J., *Systemy bezzałogowych statków powietrznych w przestrzeni powietrznej kontrolowanej*, LAW, Dęblin 2019.

Harriman L., Muhlhausen J., *A new eye in the sky: Eco-drones*, UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS), 2013.

Hausamann D. i in., *Monitoring of gas transmission pipelines – a civil UAV application*, „Aircraft Engineering and Aerospace Technology" October 2005, t. 77.

http://www.biuletyn.pw.edu.pl.

https://enterprise.dji-ars.pl.

http://ti.arc.nasa.gov.

https://www.pansa.pl.

https://www.ulc.gov.pl.

ICAO, *Cir 328*, Unmanned Aircraft Systems (UAS), 2011.

Joint Doctrine Note 2/11. The UK Approach to Unmanned Aircraft Systems.

Konert A., *Prawne aspekty użytkowania bezzałogowych statków powietrznych*, Oficyna Wydawnicza Uczelni Łazarskiego, Warszawa 2021.

Kuptel A., *Zastosowanie bezzałogowych systemów powietrznych w aspekcie militarnym*, Warszawa 2014.

Laurence R., *Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles, American Institute of Aeronautics and Astronautics*, b.m.w. 2012.

Masutti A., Tomasello F., *International regulation of Non-Military Drones*, Edward Elgar, Cheltenham–Northampton 2018.

Moj M., *Status prawny cywilnych bezzałogowych statków powietrznych i ograniczenia związane z wykonywaniem lotów przez cywilne bezzałogowe statki powietrzne*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2015.

Wegener S. i in., *Autonomous Operations for Airborne Science Missions*, „American Institute of Aeronautics and Astronautics" September 2004.

Zeng Y., Zhang R., Teng Joon L., *Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges*, IEEE Communications Magazine, b.m.w. 2016.

Zieliński T., *Bezzałogowe systemy powietrzne w działaniach ekspedycyjnych*, Warszawa 2010.

**ppłk dr Daniel Michalski**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0000-0001-8202-6738

# Zagrożenia wynikające z użycia bezzałogowych statków powietrznych wobec ludności cywilnej i infrastruktury

## Risks to Civilians and Infrastructure from the Use of Unmanned Aerial Vehicles

**Streszczenie**

Celem artykułu jest identyfikacja zagrożeń wynikających z wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych (BSP) wobec ludności cywilnej oraz infrastruktury krytycznej. W ostatnich latach drony, początkowo rozwijane do celów cywilnych i komercyjnych, stały się powszechnym narzędziem działań bojowych i terrorystycznych. Szczególnie widoczne jest to w konfliktach zbrojnych – w Ukrainie, gdzie masowo stosuje się drony FPV i kamikadze, oraz na Bliskim Wschodzie, gdzie wykorzystywane są one do ataków na instalacje naftowe i lotniska. Incydenty odnotowane w Polsce, w tym wtargnięcia rojów dronów w przestrzeń powietrzną, dowodzą, że zagrożenie ma także bezpośredni wymiar dla bezpieczeństwa narodowego i lokalnych społeczności. Problem badawczy został sformułowany za pomocą pytania: W jaki sposób użycie BSP oddziałuje na bezpieczeństwo ludności i funkcjonowanie infrastruktury krytycznej? Do realizacji celu badawczego wykorzystano analizę literatury przedmiotu, dokumentów normatywnych oraz metodę studium przypadku, obejmującą wybrane przykłady z Ukrainy, Bliskiego Wschodu i Polski. Wyniki badań wskazują, że BSP stanowią wielowymiarowe zagrożenie – od bezpośredniego ryzyka utraty życia i zdrowia, poprzez zakłócenia w funkcjonowaniu usług publicznych, aż po destabilizację społeczną i psychologiczną. Jednocześnie skuteczność dotychczasowych środków przeciwdziałania pozostaje ograniczona, a asymetria kosztów sprzyja napastnikom. Artykuł kończy się rekomendacjami dla Polski, obejmującymi m.in. rozwój systemów wykrywania i neutralizacji dronów (C-UAS), aktualizację procedur reagowania kryzysowego, wzmocnienie ochrony infrastruktury krytycznej oraz podnoszenie świadomości społecznej.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe statki powietrzne, drony, infrastruktura krytyczna, C-UAS, zagrożenia hybrydowe, ochrona ludności

**Abstract**
The aim of this article is to identify the threats posed by the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to civilians and critical infrastructure. In recent years, drones, initially developed for civilian and commercial purposes, have become a common tool for combat and terrorist activities. This is particularly evident in armed conflicts – in Ukraine, where FPV and kamikaze drones are used on a massive scale, and in the Middle East, where they are used to attack oil installations and airports. Incidents reported in Poland, including drone swarms invading airspace, prove that the threat also has a direct impact on national security and local communities. The research problem was formulated in the question: how does the use of UAVs affect the safety of the population and the functioning of critical infrastructure? To achieve the research objective, an analysis of the literature on the subject, normative documents, and a case study method were used, covering selected examples from Ukraine, the Middle East, and Poland. The results of the study indicate that UAVs pose a multidimensional threat – from the direct risk of loss of life and health, through disruption of public services, to social and psychological destabilization. At the same time, the effectiveness of existing countermeasures remains limited, and the asymmetry of costs favors attackers. The article concludes with recommendations for Poland, including the development of drone detection and neutralization systems (C-UAS), updating crisis response procedures, strengthening critical infrastructure protection, and raising public awareness.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, drones, critical infrastructure, C-UAS, hybrid threats, civil protection

## Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w ostatnich latach sprawił, że stały się one zarówno narzędziem codziennego użytku w sektorze cywilnym, jak i istotnym elementem współczesnych działań zbrojnych. Ich powszechna dostępność, relatywnie niskie koszty oraz łatwość adaptacji do różnych zadań powodują, że drony są nie tylko wykorzystywane do celów rekreacyjnych i komercyjnych, lecz coraz częściej stają się środkiem ataków terrorystycznych, działań hybrydowych oraz regularnych operacji wojennych. Przykłady z Ukrainy, Bliskiego Wschodu czy incydenty notowane na terytorium Polski potwierdzają, że mamy do czynienia z rosnącym zagrożeniem dla ludności cywilnej oraz infrastruktury krytycznej. Celem badania była identyfikacja najważniejszych zagrożeń wynikających z użycia BSP wobec ludności i infrastruktury, a także ocena skuteczności dotychczasowych środków przeciwdziałania.

Ponadto artykuł formułuje rekomendacje dla Polski, mogące przyczynić się do zwiększenia odporności państwa i społeczności lokalnych na tego typu wyzwania. Problem badawczy sprowadza się do pytania: W jaki sposób wykorzystanie dronów wpływa na bezpieczeństwo ludności i funkcjonowanie infrastruktury krytycznej w warunkach współczesnych konfliktów i zagrożeń hybrydowych? Metody badawcze obejmowały przede wszystkim analizę źródeł wtórnych, takich jak literatura przedmiotu, dokumenty normatywne (w tym NATO-wskie klasyfikacje BSP), raporty medialne oraz analizy eksperckie dotyczące incydentów z użyciem dronów. Wykorzystano także metodę studium przypadku (*case study*), koncentrując się na wybranych przykładach: atakach dronowych w Ukrainie, na Bliskim Wschodzie oraz incydentach związanych z naruszeniem polskiej przestrzeni powietrznej. Podejście to pozwoliło na porównanie różnych form użycia dronów i ocenę ich skutków dla bezpieczeństwa państw oraz społeczności lokalnych. Wyniki przeprowadzonej analizy mają stanowić podstawę do dalszej dyskusji na temat rozwoju systemów przeciwdziałania dronom (C-UAS) oraz adaptacji procedur reagowania kryzysowego do nowego typu zagrożeń powietrznych.

## Zarys problematyki bezzałogowych systemów powietrznych

Klasyfikacja BSP opiera się na zróżnicowanych kryteriach, które obejmują m.in. rozmiar, przeznaczenie, maksymalną masę startową (MTOW – *Maximum Takeoff Weight*), warunki eksploatacji, parametry taktyczno-techniczne, a także możliwości operacyjne. W praktyce stosowane są zarówno pojedyncze kryteria, jak i ich kombinacje, co wynika z trudności w opracowaniu uniwersalnego systemu klasyfikacyjnego, zdolnego do objęcia całej gamy istniejących konstrukcji BSP. W literaturze przedmiotu najczęściej spotykane są klasyfikacje oparte na parametrach technicznych i funkcjonalnych, które zapewniają możliwość porównania różnych systemów w ujęciu operacyjnym.

Jedną z najpowszechniej stosowanych klasyfikacji jest podział oparty na kryterium masy startowej BSP. Na tej podstawie wyodrębniono trzy główne klasy, a w ich obrębie kategorie precyzujące wymagania techniczne i użytkowe, które muszą zostać spełnione, aby dany statek powietrzny mógł zostać przypisany do określonej grupy. Klasyfikacja ta, opracowana i stosowana w ramach NATO, została zestawiona w tabeli 1.

**Tabela 1. Klasyfikacja BSP w NATO**

| Klasa | Kategoria | Szczebel | Pułap oper. | Zasięg | Wspierany dowódca |
|---|---|---|---|---|---|
| III (powyżej 600 kg) | STRIKE/ COMBAT | Strategiczny | Powyżej 65 000 ft | Bez ograniczeń (BLOS) | Strategiczny |
| | HALE | Strategiczny | Do 65 000 ft | Bez ograniczeń (BLOS) | Strategiczny |
| | MALE | Operacyjny | Do 40 000 ft | Bez ograniczeń (BLOS) | Operacji połączonych |
| II (150–600 kg) | TACTICAL | Taktyczny | Do 3000 ft | 200 km (LOS) | ZT/oddziału (dywizja/ brygada) |
| I (poniżej 150 kg) | SMALL | Pododdział | Do 1200 ft | 80 km (LOS) | Oddziału/ pododdziału (brygada/ pułk/ batalion) |
| | MINI | Pododdział | Do 1000 ft | 25 km (LOS) | Pododdziału (batalion/ kompania) |
| | MICRO | Pododdział | Do 200 ft | 5 km (LOS) | Pododdziału (pluton/ drużyna) |

Źródło: tłumaczenie własne na podstawie: STANAG 4670 – ATP 3.3.8.1, *Minimum Training Requirements For Unmanned Aircraft Systems (UAS) Operators And Pilots*, NATO, Bruksela 2019.

Jednak bez względu na stosowaną klasyfikację należy wskazać, że komercyjne, cywilne drony dostępne na rynku – w tym powszechnie rozpoznawalne urządzenia producentów takich jak DJI – cechuje wysoka dostępność i relatywnie niska cena, co przekłada się na ich dominującą pozycję wśród systemów BSP. Szacuje się, że liczba zainstalowanych dronów komercyjnych na świecie osiągnęła 2,8 mln szt. w 2024 r. i rośnie w tempie skumulowanego rocznego wskaźnika wzrostu (CAGR) wynoszącego 9,9%. Baza zainstalowanych dronów komercyjnych ma osiągnąć około 4,5 mln szt. do 2029 r.[1] Służą one legalnie do filmowania, dostaw towarów czy celów rekreacyjnych, jednak mogą być łatwo zaadaptowane do działań niezgodnych z prawem.

[1] V. Barta, *Connected Commercial Drones*, wyd. 1, Berg Insigh, Szwecja 2024.

Ich powszechna dostępność i niska cena (często kilkaset dolarów) sprawiają, że zarówno grupy przestępcze, jak i organizacje terrorystyczne chętnie po nie sięgają[2]. Komercyjne BSP wyposażone w kamery i GPS mogą zostać zmodyfikowane do przenoszenia ładunków – od kontrabandy po materiały wybuchowe. Przykładowo, na polsko-białoruskiej granicy odnotowano przypadki przerzucania tą drogą nielegalnych papierosów – dron lecący nisko z Białorusi zrzucił na polskim przygranicznym terenie siedem pakunków, zawierających łącznie 4200 paczek papierosów z przemytu[3]. Niestety, podobnie łatwo taki dron może przenieść niebezpieczny ładunek i zostać użyty do ataku[4]. W rękach niepaństwowych aktorów (np. organizacji terrorystycznych) już od kilku lat obserwuje się wykorzystywanie dronów konsumenckich do ataków bombowych z powietrza (poprzez zrzucanie granatów czy ładunków z wysokości) oraz jako dronów kamikadze uderzających w cel z podczepionym ładunkiem[5]. Takie improwizowane systemy były używane m.in. przez ISIS, Hamas czy Huti, a także kopiowane przez regularne armie w Ukrainie. Ze względu na ich niewielkie rozmiary i lot na małej wysokości są trudne do wykrycia i zwalczania tradycyjnymi metodami, co czyni z nich poważne zagrożenie asymetryczne[6].

Szczególną kategorią dostępnych cywilnie konstrukcji są drony wyścigowe i akrobacyjne FPV (*First Person View*), sterowane manualnie z wykorzystaniem gogli dających podgląd z kamery pokładowej. Charakteryzują się niewielkimi rozmiarami, dużą prędkością i zwrotnością. Początkowo popularne w sportowym nurcie wyścigów dronów, obecnie stały się one tanią bronią precyzyjną na polu walki. Operator może sterować takim dronem w czasie rzeczywistym, naprowadzając go dokładnie na wybrany cel z wysoką precyzją. W wojnie w Ukrainie obie strony konfliktu rozwinęły na dużą skalę użycie dronów FPV do niszczenia sprzętu wojskowego przeciwnika – od pojazdów opancerzonych po systemy artylerii. Drony FPV przenoszą zazwyczaj ładunki wybuchowe (np. granaty, ładunki kumulacyjne) i atakują z zaskoczenia.

---

[2] J. Dulligan i in., *The Rising Threat of Non-State Actor Commercial Drone Use: Emerging Capabilities and Threats*, https://ctc.westpoint.edu/the-rising-threat-of-non-state-actor-commercial-drone-use-emerging-capabilities-and-threats [dostęp: 7.09.2025].

[3] W. Szubzda, *Podniebny przemyt – siedem pakunków z papierosami i dron*, https://www.radio.bialystok.pl/wiadomosci/index/id/253510#:~:text=Funkcjonariusze%20Podlaskiego%20Oddzia%C5%82u%20Stra%C5%BCy%20Granicznej,z%C5%8 [dostęp: 7.09.2025].

[4] D. Michalski, A. Michalska, *Protection against drone activity*, „Security Forum" 2017, t. 1, nr 1, s. 73–83.

[5] W. Szubzda, *Podniebny przemyt...*, dz. cyt.

[6] K. Dobija, *Countering Unmanned Aerial Systems (UAS) in Military Operations*, „Safety & Defense" 2023, t. 9(1), s. 74–82.

Pomimo ograniczonego zasięgu (zwykle do ok. 5–10 km w wersjach bez wzmacniaczy sygnału, choć istnieją wersje przewodowe o zasięgu do 20 km), okazały się bardzo skuteczne i opłacalne. Ukraińskie siły zbrojne z powodzeniem wykorzystują je do precyzyjnych ataków punktowych, oszczędzając w ten sposób drogie pociski kierowane[7]. Dobrze wyszkoleni operatorzy potrafią przy ich pomocy eliminować nawet wartościowe cele – od stanowisk bojowych po wrogie drony. Odnotowano przypadki zestrzelenia przez ukraiński dron FPV za kilkaset dolarów kosztownego rosyjskiego drona bojowego Orion. Drony FPV stały się zatem synonimem niedrogiej, a zarazem zabójczo efektywnej broni precyzyjnej, co w warunkach wojennych czyni je elementem „dronizacji" pola walki[8].

Segment wojskowych BSP jest bardzo zróżnicowany – od małych dronów rozpoznawczych po duże bojowe aparaty zdolne do przenoszenia uzbrojenia. Można wyróżnić podkategorie: rozpoznawcze drony taktyczne (np. ręcznie wyrzucane BSP obserwacyjne typu FlyEye czy większe Orłan-10 używane przez Rosję), bojowe drony uderzeniowe (UCAV – *Unmanned Combat Aerial Vehicles*, jak tureckie Bayraktar TB2 czy amerykański MQ-9 Reaper, zdolne do wystrzeliwania pocisków i długotrwałego patrolowania), a także drony amunicja krążąca (kamikadze) – te ostatnie stanowią specyficzną klasę uzbrojenia jednorazowego użytku. Dron kamikadze przenosi głowicę bojową i niszczy się przy uderzeniu w cel; przykładem są amerykańskie Switchblade czy rosyjskie Lancety, jak również importowane z Iranu Shahed-131/136 używane masowo przez Rosję. Współczesne konflikty pokazują ponadto pojawienie się ataków rojowych, gdzie wiele dronów jest wystrzeliwanych jednocześnie w celu przeciążenia obrony przeciwnika. Tego rodzaju roje dronów były stosowane np. przez Rosję podczas ataków na ukraińskie miasta – kilkanaście lub kilkadziesiąt maszyn naraz, aby przełamać obronę przeciwlotniczą poprzez zatkanie kanałów celowania. Również siły irańskie i ich sojusznicy testowali ataki saturacyjne – głośnym echem odbił się incydent w Arabii Saudyjskiej w 2019 r., gdy rój dronów wsparty pociskami manewrującymi dokonał skoordynowanego ataku na instalacje naftowe. Drony wojskowe dysponują coraz lepszymi osiągami – większym zasięgiem, udźwigiem i autonomią – a także rosnącymi zdolnościami autonomicznego działania w roju. To sprawia, że stanowią one kluczowy komponent nowoczesnych sił zbrojnych, ale w rękach przeciwnika mogą też być śmiercionośnym narzędziem ataków na ludność cywilną i infrastrukturę krytyczną.

---

[7] J. Junko, *Drony na światłowód zmieniają oblicze pola walki w Ukrainie*, https://www.pap.pl/aktualnosci/drony-na-swiatlowod-zmieniaja-oblicze-pola-walki-w-ukrainie [dostęp: 7.09.2025].

[8] S. Kreps, P. Lushenko, *Drones in modern war: evolutionary, revolutionary, or both?*, „Defense & Security Analysis" 2023, nr 39(2), 271–274.

## Studium przypadków wykorzystania BSP w działaniach wojennych i poniżej progu wojny

### Ukraina

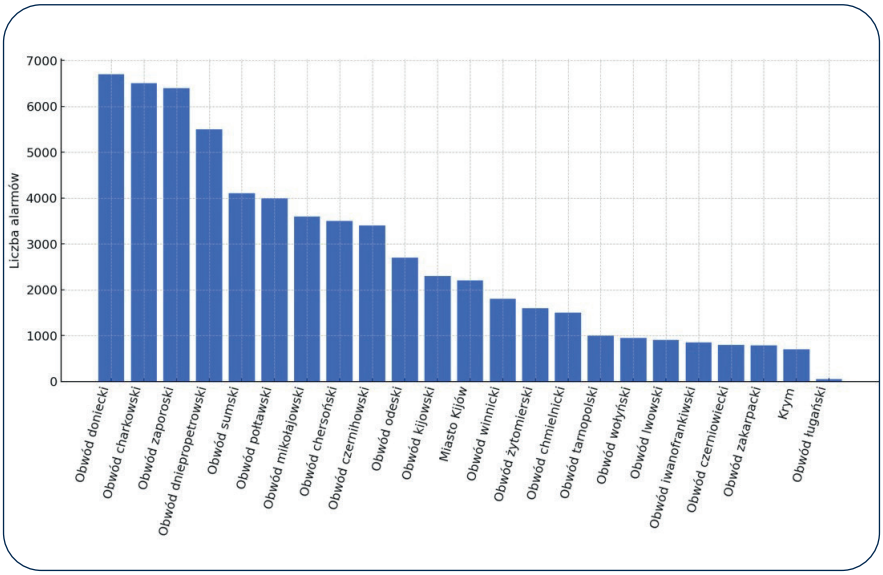
Trwająca od 2022 r. wojna w Ukrainie dostarczyła licznych przykładów użycia dronów przeciwko celom cywilnym i wojskowym. Po stronie rosyjskiej najbardziej destruktywne okazało się wykorzystanie irańskich dronów kamikadze Shahed-136 (lokalnie oznaczanych jako Geran-2). Od jesieni 2022 r. Rosja regularnie atakuje nimi ukraińskie miasta i infrastrukturę energetyczną, często wysyłając je w dużych grupach (rojach) jednocześnie, aby zmniejszyć skuteczność obrony przeciwlotniczej[9]. Dron Shahed jest prymitywny, ale tani – jego prosta konstrukcja z podzespołów dostępnych na rynku sprawia, że Rosja mogła wystrzelić co najmniej 8060 tych dronów przeciw celom w Ukrainie w ciągu trzech lat konfliktu[10]. Ukraińcom zazwyczaj udaje się zestrzelić większość nadlatujących Shahedów (według danych Sił Zbrojnych Ukrainy eliminują 70–90% atakujących dronów w danym nalocie), jednak pojedyncze maszyny, którym uda się przedrzeć przez obronę, potrafią wyrządzić poważne szkody. Przykładowo uderzenie pojedynczego drona kamikadze w stację elektroenergetyczną lub elektrownię powoduje przerwy w dostawach prądu dla setek tysięcy odbiorców. Takie ataki były z premedytacją wykorzystywane przez Rosję w zimie na przełomie lat 2022/2023, aby pogrążyć ukraińskie miasta w ciemności i chłodzie, wywierając presję na ludność cywilną.

Uzupełnieniem opisu skutków rosyjskich ataków dronowych są dane dotyczące alarmów powietrznych, które stały się elementem codzienności mieszkańców Ukrainy. Serwis air-alarms.in.ua rejestruje w czasie rzeczywistym liczbę i czas trwania alarmów w poszczególnych obwodach. Z analizy tych danych wynika, że w okresach wzmożonych ataków – zwłaszcza jesienią i zimą, gdy nasilały się zmasowane uderzenia dronami Shahed-136 – alarmy powietrzne ogłaszane były niemal codziennie, często po kilka razy w ciągu doby i potrafiły trwać wiele godzin. Poniższy wykres prezentuje liczbę alarmów na terytorium Ukrainy w okresie od rozpoczęcia działań zbrojnych do września 2025 r.

---

[9] A. Radomyski, *Powietrzny wymiar wojny w Ukrainie. Implikacje dla bezpieczeństwa Polski*, [w:] *Wojna w Ukrainie i jej implikacje dla bezpieczeństwa międzynarodowego*, red. M. Banasik, Difin, Warszawa 2024.

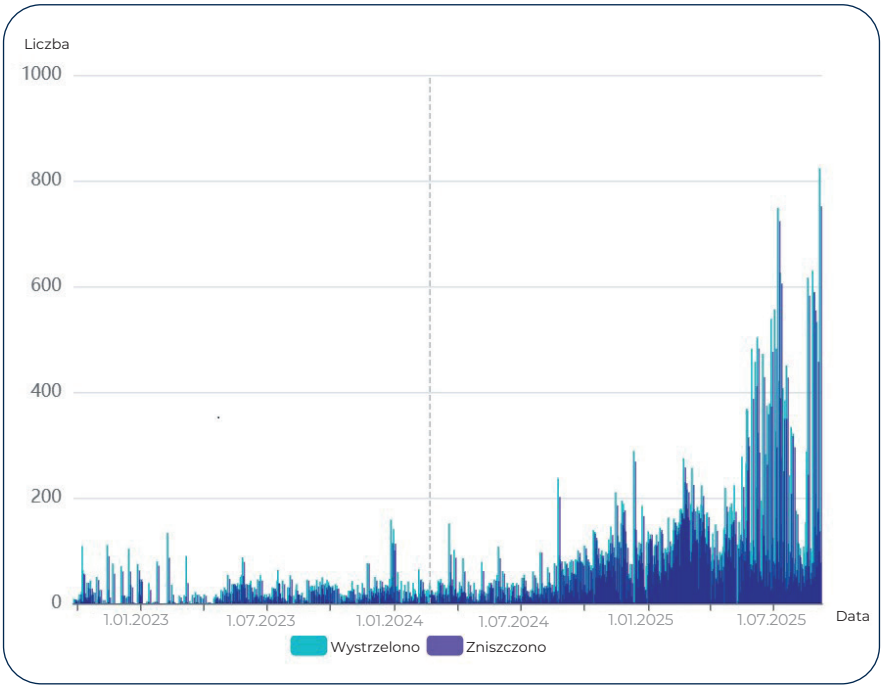
[10] A. Bartosiak, *Jak działa dron kamikadze Shahed? Rosjanie atakują nimi Ukrainę*, https://wiadomosci.radiozet.pl/polska/dron-shahed-co-to-jest-jaki-ma-zasieg-jak-dziala-dron-kamikadze#:~:text=wschodzie%20kraju,przeciwko%20celom%20na%20terytorium%20Ukrainy [dostęp: 7.09.2025].




**Wykres 1. Liczba alarmów według regionów Ukrainy w okresie 24.02.2022 – 1.09.2025 r.**

Źródło: tłumaczenie własne na podstawie: https://air-alarms.in.ua/en [dostęp: 7.09.2025]

Tak częste i długotrwałe alarmy mają istotny wpływ na poczucie bezpieczeństwa ludności cywilnej. Zmuszają mieszkańców do ciągłego przerywania pracy i życia codziennego, a także wielokrotnego schodzenia do schronów. Powoduje to zmęczenie psychiczne, nieustanne poczucie zagrożenia oraz utratę elementarnej stabilności życiowej, syrena alarmowa lub komunikat w aplikacji mobilnej Rządowej Służby ds. Sytuacji Nadzwyczajnych wywołuje niepokój i stres, nawet jeśli ostatecznie atak nie dosięgnie danego miasta. Zjawisko to określane jest mianem „terroru dronowego". Prezentowane dane pokazują, że alarmy powietrzne stały się niemal codziennym elementem życia w wielu regionach Ukrainy. W obwodach takich jak Kijów, Charków czy Sumy, syreny i powiadomienia mobilne wyły wielokrotnie dziennie, często trwając wiele godzin, zwłaszcza nocą. Równocześnie obserwuje się wyraźny wzrost skali ataków powietrznych (wykres 2). Takie interwały „dużych nalotów" zdarzają się już co kilka dni, oznacza to nie tylko stałą możliwość zagrożenia, lecz także coraz mniejsze odstępy pomiędzy atakami. System alarmowy musi być aktywowany wielokrotnie, ludzie tracą rytm dnia i nocy, a ciągła gotowość schronienia staje się normą.




**Wykres 2. Liczba wystrzelonych i zniszczonych BSP w czasie wojny Rosyjsko-Ukraińskiej**

Źródło: tłumaczenie własne na podstawie: https://www.csis.org/programs/futures-lab/projects/russian-firepower-strike-tracker-analyzing-missile-attacks-ukraine [dostęp: 7.09.2025].

Skutkiem zmasowanych ataków z udziałem setek dronów i rakiet jest także przeciążenie systemów obrony powietrznej. Przy zmasowanych nalotach obiektów dochodzi do zatkania kanałów celowania. W efekcie część celów pozostaje niewskazana, co pozwala przynajmniej części dronów przeniknąć przez obronę. Takie sytuacje obserwowano zarówno podczas nocnych nalotów na ukraińskie miasta, jak i w atakach saturacyjnych na Bliskim Wschodzie. Problem ten pogłębia asymetria kosztów – strącenie taniego drona pociskiem wartym setki tysięcy dolarów jest ekonomicznie niekorzystne, a przy setkach celów staje się wręcz niemożliwe do utrzymania. W praktyce oznacza to, że każde zmasowane uderzenie – nawet przy wysokiej skuteczności obrony sięgającej 70–90% – powoduje realne straty, gdyż kilka czy kilkanaście maszyn zawsze przebija się przez system obronny. Zjawisko to dodatkowo obniża poczucie bezpieczeństwa społeczeństwa, które dostrzega ograniczoną skuteczność nawet najbardziej zaawansowanych środków ochrony.

Po stronie ukraińskiej z kolei rozwinęło się unikalne na skalę światową doświadczenie w wykorzystywaniu małych dronów do działań bojowych. Wspomniane drony FPV stały się orężem oddolnie budowanym przez ukraińskie jednostki – często finansowane przez zbiórki publiczne i składane z komponentów hobbystycznych. Używane są one masowo do precyzyjnego niszczenia celów na polu walki, stanowiąc tańszą alternatywę dla artylerii czy rakiet kierowanych. Dzięki bezpośredniemu sterowaniu operatora (podgląd z kamery w czasie rzeczywistym) możliwe jest kierowanie ładunku wybuchowego dokładnie w słaby punkt celu, np. w lukę w okopie czy w odsłonięty właz czołgu. Co więcej, ukraińskie wojsko zaczęło używać dronów FPV także jako „dronów przechwytujących" do zwalczania innych dronów – montując na nich ładunki odłamkowe lub odłamkowo-burzące i kierując je na wrogie BSP. Osiągnięto na tym polu znaczne sukcesy. Ponadto drony różnych typów (zarówno FPV, jak i modyfikowane komercyjne) są wykorzystywane przez Siły Zbrojne Ukrainy do ataków na zaplecze przeciwnika – niszczenia składów amunicji, punktów dowodzenia, a nawet mostów i linii zaopatrzenia. To wszystko czyni teatr działań w Ukrainie areną bezprecedensowego zastosowania dronów. Niestety, wiele z tych ataków (zwłaszcza rosyjskich) jest wymierzonych w infrastrukturę cywilną, co skutkuje ofiarami i cierpieniem ludności.

## Bliski Wschód

Na Bliskim Wschodzie drony już od kilku lat są wykorzystywane do atakowania obiektów strategicznych, często przez nieregularne siły powiązane z Iranem. Najgłośniejszym incydentem był skoordynowany atak z 14 września 2019 r. na saudyjskie zakłady przetwórstwa ropy naftowej Abqaiq i Khurais. W ataku użyto roju co najmniej kilkunastu dronów (uzupełnianych prawdopodobnie kilkoma pociskami manewrującymi), które nadleciały na niskim pułapie i trafiły w instalacje stabilizacji ropy naftowej. Skutki były odczuwalne globalnie – w wyniku uderzenia połowa produkcji ropy w Arabii Saudyjskiej została czasowo wstrzymana[11], co stanowiło ok. 5% dziennej produkcji światowej. Mimo że atak nie spowodował ofiar w ludziach, pokazał, iż drony mogą poważnie uszkodzić infrastrukturę krytyczną o znaczeniu międzynarodowym. Saudyjskie systemy obrony powietrznej (w tym nowoczesne baterie Patriot) okazały się bezradne. Powodów porażki było kilka: drony leciały bardzo nisko (poza horyzontem radarów dalekiego zasięgu), nadleciały z kierunku, z którego obrona nie spodziewała się ataku, a przede wszystkim było ich wiele i nadlatywały równocześnie, co przeciążyło systemy obronne.

[11] M.E. O'Connell, *Drone Attacks on Saudi Aramco Oil Installations*, https://scholarship.law.nd.edu/ndls_news/535 [dostęp: 7.09.2025].

Incydent ten bywa określany mianem „bliskowschodniego Pearl Harbor" dla obrony powietrznej – uwidocznił nowy typ zagrożenia w postaci roju dronów atakujących kluczowe obiekty[12].

W kolejnych latach Huti w Jemenie wielokrotnie przeprowadzali ataki dronowe na saudyjskie obiekty naftowe i lotniska. Drony kamikadze uderzały m.in. w rafinerie, terminale paliw oraz lotniska cywilne (np. port lotniczy Abha był kilkukrotnie celem ataków w 2019 r., co doprowadziło do śmierci i ranienia kilku osób). Te zdarzenia potwierdzają, że nawet stosunkowo prymitywne drony w rękach zdeterminowanych grup mogą sparaliżować usługi kluczowe dla funkcjonowania państwa (jak produkcja energii czy transport lotniczy) i wywołać efekt psychologiczny groźniejszy niż same bezpośrednie straty. W atakach Huti często wykorzystywane są drony rodzimej konstrukcji (lub irańskie) o zasięgu setek kilometrów, potrafiące przenosić kilkukilogramowe głowice. Z kolei w Iraku i Syrii odnotowano ataki dronów na bazy wojskowe (także używane przez siły zachodnie), co pokazuje, że zagrożone są nie tylko typowe obiekty cywilne, ale cała infrastruktura uznawana przez agresorów za istotną dla przeciwnika.

Analiza przypadku Abqaiq 2019 jest szczególnie pouczająca z punktu widzenia zagrożeń dla infrastruktury krytycznej i ludności cywilnej. Poza zatrzymaniem połowy produkcji ropy, atak unaocznił asymetrię kosztów i trudności obrony. Szacuje się, że budowa użytych przez napastników dronów mogła kosztować zaledwie ok. 15 tys. dolarów za sztukę, podczas gdy systemy obronne warte setki milionów dolarów okazały się nieskuteczne. Jak ocenił ekspert RUSI Justin Bronk, koszt obrony przed podobnymi atakami znacznie przewyższa koszt ich przeprowadzania – napastnik zawsze może zbudować więcej tanich dronów niż obrońca zestrzelić drogimi rakietami[13]. Ta dysproporcja sprawia, że całkowite zabezpieczenie rozległej infrastruktury (rafinerii, sieci energetycznych, rurociągów) przed atakami dronów jest niezwykle trudne i wymaga nowych, bardziej ekonomicznych metod przeciwdziałania.

## Polska

Chociaż Polska nie jest teatrem regularnych działań wojennych, od 2022 r. odnotowano serię incydentów z udziałem dronów na wschodniej granicy i w przestrzeni powietrznej kraju. Większość z nich wiąże się z trwającą wojną za wschodnią granicą i aktywnością rosyjską w Ukrainie oraz Białorusi.

---

[12] I. Saltzman, *From War to Peace in the Middle East*, 2024.

[13] T. Lister, *The billions Saudi Arabia spends on air defenses may be wasted in the age of drone warfare*, https://edition.cnn.com/2019/09/19/middleeast/saudi-air-defense-analysis-intl [dostęp: 7.09.2025].

Już w 2022 r. sporadycznie pojawiały się przypadki upadku niezidentyfikowanych BSP na terytorium Polski, jednak lata 2023 i 2024 przyniosły więcej takich zdarzeń, a jesienią 2025 r. nastąpiła ich eskalacja. W nocy z 9 na 10 września 2025 r. doszło do bezprecedensowego naruszenia polskiej przestrzeni powietrznej przez rój rosyjskich dronów – w polską strefę graniczną wleciało kilkanaście bezzałogowców (według medialnych doniesień ok. 19), z czego kilka zostało zestrzelonych przez polskie i sojusznicze siły[14]. Szczątki dronów znajdywano w całej wschodniej części Polski (rys. 1).

**Rys. 1. Miejsca znalezienia szczątków dronów, stan na dzień 20.09.2025 r.**

Źródło: PAP, MSWiA.

[14] T. Lister, *The billions Saudi Arabia spends on air defenses may be wasted in the age of drone warfare*, https://edition.cnn.com/2019/09/19/middleeast/saudi-air-defense-analysis-intl [dostęp: 7.09.2025].

Na szczęście nikt nie został ranny, ale zdarzenie to pokazało, że zagrożenie dotyczy także życia i mienia polskich obywateli. W odpowiedzi na ten i podobne incydenty uruchomiono nadzwyczajne procedury bezpieczeństwa. Tymczasowo wstrzymano ruch lotniczy na kilku lotniskach we wschodniej i centralnej Polsce (m.in. w Lublinie, Rzeszowie oraz prewencyjnie w Warszawie), a w powietrze poderwano myśliwce F-16 oraz sojusznicze holenderskie F-35, wspierane przez śmigłowce bojowe. Do patrolowania nieba nad Lubelszczyzną skierowano także samolot wczesnego ostrzegania AWACS, aby śledzić kurs intruzów. Działania te unaoczniły, że nawet pojedynczy incydent z dronami może sparaliżować na pewien czas infrastrukturę transportową (zamknięte lotniska) i wymaga zaangażowania poważnych sił wojskowych do przywrócenia bezpieczeństwa. Oprócz głośnego incydentu wrześniowego w ostatnich miesiącach dochodziło też do innych naruszeń: 6 września 2025 r. w okolicach Zamościa rozbił się niezidentyfikowany dron (MON początkowo sugerował, że mógł to być dron przemytniczy, jednak strona ukraińska donosiła o rosyjskim dronie zmierzającym w tamten rejon). Następnego dnia szczątki kolejnego obiektu znaleziono we wsi Polatycze przy granicy z Białorusią. Kilka dni wcześniej polskie i sojusznicze myśliwce przechwyciły nad Polską dwa drony i odprowadziły je z powrotem za wschodnią granicę. Te zdarzenia budzą pytania o intencje – czy wszystkie wtargnięcia to wynik przypadkowego zabłądzenia maszyn (np. awarii lub błędu nawigacji), czy też celowe testowanie czujności Polski i NATO? Analitycy wskazują, że Rosja może celowo dopuszczać do naruszeń naszej przestrzeni, aby wywoływać zamieszanie i sprawdzać reakcje. Jednocześnie pewna część incydentów to efekt intensywności wojny tuż za granicą.

Na granicy polsko-białoruskiej drony wykorzystywane są także w działaniach przestępczych i hybrydowych. Straż Graniczna regularnie odnotowuje przypadki wykorzystywania małych dronów do przerzutu kontrabandy (np. papierosów, jak wspomniano wcześniej) oraz do działań prowokacyjnych ze strony służb białoruskich. W 2023 r. media informowały o incydentach, w których białoruskie drony rozpoznawcze latały nad posterunkami SG, prawdopodobnie w celu szpiegowskim lub nękania polskich patroli. Takie działania, choć nie zagrażają życiu ludzi, naruszają suwerenność przestrzeni powietrznej i wymuszają reakcje (np. czasowe zamknięcia przejść granicznych lub ostrzał ostrzegawczy). Władze podkreślają, że każdy niezidentyfikowany dron na granicy jest traktowany poważnie – w grę wchodzą bowiem zarówno zagrożenie bezpieczeństwa (przenoszenie niebezpiecznych ładunków, zwiad dla sabotażu), jak i ryzyko dla lotnictwa cywilnego w strefach przygranicznych. Stąd konieczność wzmacniania ochrony granicy również w wymiarze powietrznym.

## Wpływ użycia BSP na bezpieczeństwo ludności i administracji lokalnej

### Zagrożenie dla życia i zdrowia mieszkańców

BSP używane w celach bojowych stanowią realne zagrożenie dla życia ludzi, podobnie jak tradycyjne środki napadu powietrznego. Uzbrojony dron atakujący cel cywilny może spowodować śmierć lub obrażenia wielu osób. Według raportu ONZ w lipcu 2025 r. liczba ofiar cywilnych w Ukrainie osiągnęła najwyższy poziom od trzech lat – poinformowała Misja Monitorowania Praw Człowieka ONZ w Ukrainie (HRMMU). Zginęło 286 osób, a 1388 zostało rannych. Dane wskazują, że:

- najwięcej ofiar spowodowały pociski dalekiego zasięgu i amunicja krążąca (40% ofiar – 89 zabitych i 572 rannych);
- drony krótkiego zasięgu odpowiadały za 24% ofiar (64 zabitych, 337 rannych) – ich użycie znacząco wzrosło od lipca 2024 r.;
- największy wzrost odnotowano w wyniku użycia bomb lotniczych – 276 ofiar (67 zabitych, 209 rannych) wobec 114 w czerwcu.

Od początku pełnoskalowej inwazji Rosji w lutym 2022 r. potwierdzono śmierć co najmniej 13 883 cywilów (w tym 726 dzieci) oraz 35 548 rannych (w tym 2234 dzieci)[15]. Takie działania rażąco naruszają prawo konfliktów zbrojnych, a przede wszystkim niosą ogromne ryzyko dla zwykłych ludzi: od bezpośrednich ofiar wybuchów, po długofalowe skutki (utrata bliskich, traumy).

Także w czasie pokoju drony mogą stwarzać śmiertelne zagrożenie, jeśli zostaną wykorzystane do ataku terrorystycznego. Relatywnie niewielki ładunek wybuchowy przenoszony przez dron (np. kilka kilogramów trotylu lub materiałów chemicznych) wystarczy, by spowodować masowe ofiary na zatłoczonym obszarze – wyobraźmy sobie dron detonujący się nad zgromadzeniem ludzi, imprezą masową czy w centrum miasta. Niestety, nie jest to czysto teoretyczny scenariusz: w Wenezueli w 2018 r. próbowano przeprowadzić zamach na prezydenta przy użyciu dronów wyładowanych materiałami wybuchowymi (zamach się nie powiódł, ale kilka osób zostało rannych). Równie groźne jest użycie dronów do ataków na środki transportu – np. zderzenie nawet małego drona z lecącym samolotem pasażerskim może doprowadzić do katastrofy lotniczej. Administracja lotnicza od lat alarmuje o rosnącej liczbie incydentów bliskiego

[15] United Nations Human Rights, *Number of civilians killed and injured in Ukraine reaches three-year monthly high in July 2025, UN human rights monitors say*, https://ukraine.ohchr.org/en/Number-of-civilians-killed-and-injured-in-Ukraine-reaches-three-year-monthly-high-in-July-2025-UN-human-rights-monitors-say [dostęp: 7.09.2025].

mijania się dronów z samolotami na podejściu do lądowania. Stąd każde naruszenie strefy powietrznej w pobliżu lotnisk traktuje się jako zdarzenie wysokiego ryzyka.

### Ryzyko zakłócenia usług publicznych i infrastruktury krytycznej

Atak dronów na infrastrukturę krytyczną może mieć katastrofalny wpływ na funkcjonowanie społeczności lokalnych i nie tylko. Przykładem są ataki na ukraińską infrastrukturę energetyczną: zniszczenie elementów sieci przesyłowej i elektrowni w wyniku zmasowanych nalotów dronów doprowadziło zimą na przełomie lat 2022/2023 do rozległych blackoutów, pozbawiając prądu miliony ludzi w środku mrozów. Można sobie wyobrazić podobny scenariusz w Polsce – uderzenie kilku dronów w stację transformatorową czy elektrownię może skutkować awarią rozległego obszaru sieci. Równie wrażliwe są systemy zaopatrzenia w wodę, gaz, paliwa czy łączność telekomunikacyjna. Zakłócenia transportu to kolejny skutek potencjalnego ataku. Drony nad lotniskiem mogą wymusić wstrzymanie ruchu lotniczego, a atak na węzeł kolejowy czy most drogowy – zablokować szlaki komunikacyjne. W Arabii Saudyjskiej atak na instalacje naftowe przełożył się na gwałtowny skok cen ropy i paliw na świecie, co pośrednio dotyka całe społeczeństwa. W skali lokalnej skutki mogą być równie dotkliwe, np. uszkodzenie rafinerii lub zbiorników paliw grozi nie tylko pożarem, ale i przerwą w dostawach paliwa dla regionu (co utrudni pracę służb, komunikację publiczną, zaopatrzenie sklepów). Atak dronów na oczyszczalnię ścieków czy stację uzdatniania wody mógłby spowodować skażenie i przerwę w dostawie wody pitnej. Te wszystkie scenariusze mieszczą się w katalogu zagrożeń, jakie lokalne władze muszą brać pod uwagę, planując ochronę infrastruktury. Zakłócone mogą zostać także usługi ratunkowe i porządkowe. W sytuacji ataku dronów straż pożarna, pogotowie i policja muszą działać pod presją, często w warunkach utrudnionej łączności czy braku zasilania. Dodatkowo, jeśli atak jest skoordynowany (np. z cyberatakiem), służby mogą zostać przeciążone wielością zdarzeń. W rezultacie czas reakcji na inne nagłe wypadki się wydłuża, co przekłada się na bezpieczeństwo mieszkańców nawet poza bezpośrednią strefą ataku.

### Konieczność planów obrony i reagowania kryzysowego

Skala opisanych wyżej zagrożeń oznacza, że administracja lokalna i krajowa musi opracować szczegółowe plany obrony oraz procedury reagowania kryzysowego na wypadek ataków dronów. Tradycyjne plany obrony cywilnej (skupione np. na ewakuacji w razie klęski żywiołowej czy ataku rakietowego) wymagają aktualizacji o scenariusze związane z dronami. Wczesne ostrzeganie to jeden z kluczowych elementów – lokalne systemy

alarmowe (syreny, komunikaty SMS od RCB) powinny być przystosowane do ostrzegania przed nadlatującym dronem lub rojem dronów. Czas reakcji ma tu ogromne znaczenie – jeżeli mieszkańcy zostaną ostrzeżeni kilka minut wcześniej, mogą szukać schronienia (np. przejść do piwnic lub wewnętrznych pomieszczeń budynków), co zwiększa szanse przeżycia w razie eksplozji. W Ukrainie alarmy przeciwlotnicze dotyczą także dronów i nauczyły ludność określonych zachowań – podobne mechanizmy prewencyjne warto zawczasu przećwiczyć na poziomie lokalnym w Polsce.

Samorządy powinny również przygotować plany ciągłości działania usług komunalnych na wypadek uderzenia w infrastrukturę. Obejmuje to np. gotowość uruchomienia awaryjnych generatorów prądu dla wodociągów, szpitali, sieci telekomunikacyjnych; posiadanie zapasów wody i żywności; procedury szybkiej oceny stanu mostów, dróg czy ważnych budynków po eksplozji. Ważna jest koordynacja z wojskiem i służbami – lokalne centra zarządzania kryzysowego muszą wiedzieć, do kogo skierować prośbę o wsparcie (np. saperów w celu unieszkodliwienia niewybuchów drona, patroli WOT do zabezpieczenia miejsca zdarzenia czy wojska do osłony obiektów). Ćwiczenia symulacyjne z udziałem wojska, policji, straży pożarnej i administracji cywilnej w scenariuszu ataku dronów pozwolą zidentyfikować potencjalne luki i wypracować schematy współpracy.

Szczególnej uwagi wymaga kwestia postępowania ze znalezionym dronem lub jego szczątkami. Każdy taki obiekt może być niebezpieczny – może zawierać niewybuch (jeśli to dron kamikadze, który nie zdetonował) albo urządzenia szpiegowskie. Dlatego administracja lokalna musi edukować mieszkańców, by nie dotykali podejrzanych dronów, tylko niezwłocznie zgłaszali je odpowiednim służbom. W Polsce istnieją procedury w ramach zarządzania kryzysowego – wojewodowie wydają komunikaty, a policja i wojsko zabezpieczają takie znaleziska (jak w przypadku drona znalezionego pod Bydgoszczą w 2023 r. czy ostatnich upadków na Lubelszczyźnie). Niezbędne jest jednak, by informacje o takich procedurach dotarły zawczasu do lokalnych społeczności.

## Wpływ na poczucie bezpieczeństwa i stabilność społeczną

Powtarzające się ataki dronów lub nawet same alarmy o potencjalnym zagrożeniu mogą z czasem negatywnie odbić się na psychice społeczeństwa i poczuciu bezpieczeństwa. Długotrwały stres związany z możliwością ataku z powietrza (często niewidzialnego gołym okiem) prowadzi do zjawiska określanego w Ukrainie jako „terror dronowy". Brzęczenie silnika drona kamikadze – porównywanego do odgłosu motoroweru – stało się tam źródłem

traumy mieszkańców miast atakowanych nocami przez roje BSP. Ludność cywilna czuje się bezradna wobec takiego zagrożenia, co może obniżać morale i zaufanie do władz, jeśli ataki powtarzają się często. Właściwe działania informacyjne i obronne mogą ograniczyć te negatywne skutki. Przykładem jest postawa władz polskich po niedawnych incydentach, gdzie z jednej strony uczciwie komunikowano powagę sytuacji, z drugiej uspokajano, by nie wywoływać paniki. Przejrzyste informowanie społeczeństwa o zagrożeniu i podejmowanych środkach zaradczych jest kluczowe dla utrzymania zaufania. Ważne, aby obywatele mieli poczucie, że państwo kontroluje sytuację na tyle, na ile to możliwe, a jednocześnie byli świadomi realiów (np. tego, że pewne ryzyko zawsze istnieje). Brak rzetelnej informacji tworzy podatny grunt dla plotek i dezinformacji – czego przykład mieliśmy po wrześniowym incydencie z dronami, kiedy to media rosyjskie i białoruskie zaczęły szerzyć fałszywe narracje bagatelizujące naruszenie polskiej przestrzeni i zrzucające winę na Ukrainę[16]. Tego typu dezinformacja ma na celu właśnie podważyć stabilność społeczną – skłócić sojuszników i wprowadzić chaos informacyjny.

Administracja lokalna musi być przygotowana również na wtórne skutki psychologiczne ataków. Nawet nieudany atak (bez ofiar) może wywołać poczucie zagrożenia wśród mieszkańców danej gminy czy miasta. Może to skutkować np. czasowym odpływem ludzi z regionu (ucieczka w bezpieczniejsze miejsce), spadkiem aktywności gospodarczej, zawieszeniem zajęć szkolnych itp. Lokalne władze powinny mieć plany wsparcia dla ludności po ewentualnym ataku – od pomocy psychologicznej, przez zapewnienie schronienia i rekompensat za zniszczenia, po organizację społeczności (np. sieci wolontariatu pomagającej w odbudowie). Ważne jest, by społeczność lokalna czuła się zaangażowana we wspólne radzenie sobie z zagrożeniem, co paradoksalnie może wzmocnić spójność społeczną. Przykłady z Ukrainy pokazują, że wspólne działania obywateli (choćby nasłuch dronów, wzajemne informowanie się o niebezpieczeństwie, pomoc sąsiedzka podczas alarmów) budują odporność psychiczną społeczeństwa. W Polsce również warto już teraz edukować mieszkańców, jak reagować na alarm dronowy i jak wspólnie przetrwać ewentualny okres zakłóceń w usługach.

[16] Ministerstwo Spraw Zagranicznych, *Uwaga na dezinformację związaną z naruszeniem polskiej przestrzeni powietrznej przez drony*, https://www.gov.pl/web/dyplomacja/uwaga-na-dezinformacje-zwiazana-z-naruszeniem-polskiej-przestrzeni-powietrznej-przez-drony#:~:text=Uwaga%20na%20dezinformacj%C4%99%20zwi%C4%85zan%C4%85%20z,nie%20zmierza%C5%82y%20w%20kierunku%20Polski [dostęp: 7.09.2025].

## Główne trendy w wykorzystaniu dronów przeciw ludności

Analizując powyższe przypadki, można zidentyfikować kilka kluczowych trendów w użyciu dronów jako zagrożenia dla ludności i infrastruktury:

- Coraz tańsze i łatwiejsze w obsłudze drony stają się dostępne globalnie. Oznacza to, że nie tylko armie wielkich mocarstw, ale i aktywni gracze niepaństwowi (organizacje rebelianckie, terrorystyczne, a nawet zorganizowane grupy przestępcze) uzyskują „miniaturowe siły powietrzne" do swoich celów. Statystyki wskazują na wykładniczy wzrost liczby ataków z użyciem dronów: w latach 2006–2023 odnotowano łącznie 1122 ataki przeprowadzone przez podmioty niepaństwowe, z czego ponad 90% wydarzyło się po 2016 r., a rekordowy był rok 2023 z 265 atakami[17]. To pokazuje, że mamy do czynienia z nowym zjawiskiem na polu bezpieczeństwa – drony stały się narzędziem z wyboru w konfliktach asymetrycznych i ich użycie będzie prawdopodobnie wciąż rosło.
- Trendem jest przenikanie taktyk dronowych ze sfery niepaństwowej do regularnych sił zbrojnych. To, co zaczęły grupy takie jak ISIS czy Huti (bombardowanie z małych dronów, kamikaze DIY), zostało zaadaptowane i rozwinięte przez armie (przykładem Rosja i Ukraina). Z kolei państwa dostarczają drony swoim proxy (np. Iran zaopatrujący Hutich czy Rosję w Shahedy). Proliferacja dotyczy też samej technologii: komponenty do budowy dronów (silniki, GPS, systemy wizyjne) są swobodnie dostępne na rynku globalnym, często z Chin, co utrudnia kontrolę. Szybko rośnie wydajność i osiągi dronów komercyjnych – z każdą generacją mają dłuższy zasięg, większy udźwig, lepszą stabilizację lotu itp. (np. postęp modeli DJI w latach 2013–2024 jest ogromny). To oznacza, że nawet proste drony kupione na rynku cywilnym zyskują zdolność do działań, które wcześniej były możliwe tylko dla specjalistycznych konstrukcji wojskowych.
- Wyraźnym trendem jest ukierunkowanie działań dronowych na cele o dużym znaczeniu gospodarczym lub symbolicznym. Zamiast bezpośredniej walki z siłami zbrojnymi przeciwnika agresorzy coraz częściej używają dronów, by uderzyć w ludność cywilną pośrednio poprzez infrastrukturę – niszcząc elektrownie, rurociągi, magazyny paliw, węzły transportowe. Celem bywa też wywołanie efektu psychologicznego, np. atak na stolicę lub inne duże miasto wroga wywołuje rezonans medialny i panikę (Rosja atakowała dronami m.in. Kijów, Lwów i inne miasta daleko od linii frontu, aby pokazać zasięg rażenia). Trend ten wynika z relatywnie niewielkich możliwości pojedynczego drona, a zarazem faktu, że infrastruktura cywilna jest słabo chroniona i rozległa. Wybierane są cele słabo bronione, ale których zniszczenie dotknie wielu ludzi –

[17] J. Dulligan i in., *The Rising Threat*..., dz. cyt.

stacje transformatorowe, mosty, lotniska cywilne, centra logistyczne, a nawet obiekty symboliczne (np. atak ISIS dronem na paradę wojskową w Wenezueli miał uderzyć w morale). Jednocześnie drony nadal są używane do ataków bezpośrednio na ludność cywilną (tzw. *soft targets*), np. ataki na zgromadzenia religijne w Iraku czy atak Huti na lotnisko cywilne – co wskazuje na to, że w oczach agresorów dron to broń terroru służąca zastraszeniu społeczeństwa.

- Coraz częściej odnotowuje się przypadki użycia wielu dronów jednocześnie (atak saturacyjny). Trend ten będzie prawdopodobnie przybierał na sile wraz z rozwojem technologii sterowania rojem – obecnie większość ataków rojowych to po prostu wystrzelenie wielu dronów w tym samym czasie, ale na horyzoncie są autonomiczne roje współpracujących maszyn. Przewiduje się, że drony w roju będą w stanie dzielić się zadaniami (np. część prowadzi rozpoznanie, inne wykonują atak z różnych kierunków), co dodatkowo utrudni obronę. Użycie rojów w 2019 r. w Arabii Saudyjskiej czy obecnie w Ukrainie pokazało ich skuteczność. Największą obawą ekspertów jest możliwość skonstruowania roju tanich dronów zdolnych do samodzielnego wyboru celów, co dramatycznie zwiększyłoby skalę zniszczeń[18]. Już teraz widać zalążki – Iran eksperymentuje z rojem 50 dronów, Turcja i Izrael rozwijają systemy roju dla swoich armii. To trend, na który społeczność międzynarodowa powinna zwrócić szczególną uwagę (również pod kątem etycznym i prawnym).
- Trudności w przeciwdziałaniu i asymetria kosztów: Trendem, niestety korzystnym dla atakujących, jest nadal górowanie środków ataku nad środkami obrony. Mimo rosnących inwestycji w technologie antydronowe (C-UAS) obecnie wiele państw nie jest w pełni przygotowanych na skalę i charakter zagrożeń. Typowe systemy obrony przeciwlotniczej (OPL) były projektowane pod cele szybkie i wysoko lecące (samoloty, rakiety), przez co małe, wolne i nisko lecące drony często „przenikają" przez klasyczne parasole obronne[19]. Wyspecjalizowane systemy przeciwdronowe atkualnie są w fazie rozwoju, a te które istnieją (np. zakłócarki sygnałów, systemy radarów pola bliskiego, broń mikrofalowa) mają ograniczenia – są drogie, dają fałszywe alarmy i nie radzą sobie z rojem czy dronami autonomicznymi. Ta dysproporcja technologiczna przekłada się na asymetrię kosztów: jak wspomniano, obrońca często musi zużyć pocisk wart setki tysięcy lub milion dolarów, by zestrzelić dron za kilkaset dolarów. Zmusza to atakowanych do poszukiwania nowych, tańszych metod obrony.

[18] Tamże.

[19] P. Pacek, *Capabilities of air defence in countering uavs in combat conditions – lessons from the russo-ukrainian conflict*, „Aviation and Security Issues" 2026, t. 7(1), s. 29–43.

## Wnioski i rekomendacje dla administracji lokalnej i krajowej

Biorąc pod uwagę powyższe analizy zagrożeń i obecny stan środków obrony, można sformułować szereg rekomendacji dla władz – zwłaszcza w Polsce – celem lepszego przygotowania się na zagrożenia dronowe. Rekomendacje te obejmują zarówno działania techniczne i wojskowe, jak i organizacyjne oraz legislacyjne:

- kluczowe jest, aby wykryć zagrożenie zanim spadną pierwsze uderzenia. Polska powinna kontynuować i przyspieszyć inicjatywy takie jak program Barbara – cztery aerostaty z radarami dalekiego zasięgu (do 300 km) uniesionymi na wysokość ok. 4,5 km, które będą mogły nieprzerwanie monitorować przestrzeń powietrzną nad granicami. Ponadto zaleca się budowę sieci naziemnych sensorów – więcej stacji radarowych krótkiego zasięgu (zwłaszcza chroniących okolice kluczowych obiektów infrastruktury), a także kamer, analizatorów widma i mikrofonów nasłuchowych w pasie przygranicznym. W miastach warto rozważyć integrację systemów monitoringu miejskiego z detekcją UAV (np. oprogramowanie do wykrywania charakterystycznego ruchu drona na kamerach CCTV);
- integracja ostrzegania z aplikacją mobilną – obecny system wysyłania komunikatów SMS przez RCB, choć skuteczny, bywa opóźniony i pozbawiony jednoznacznego wydźwięku alarmowego. Rekomenduje się uruchomienie dedykowanej aplikacji mobilnej na wzór ukraińskiej *Air Alert*, która w sposób natychmiastowy i wyraźny (sygnał dźwiękowy, komunikat wizualny, mapy zagrożenia) informowałaby o nadchodzącym ataku dronowym lub rakietowym. Aplikacja mogłaby zostać zintegrowana z systemem detekcji BSP oraz z wojewódzkimi centrami zarządzania kryzysowego, zapewniając mieszkańcom precyzyjną i szybką informację o zagrożeniu. Wprowadzenie takiego rozwiązania zwiększyłoby nie tylko skuteczność ostrzegania, ale również poczucie bezpieczeństwa społeczności lokalnych, które miałyby pewność, że ostrzeżenie dotrze natychmiast i w jednoznacznej formie;
- Polska jako państwo flankowe NATO powinna zainwestować w nowoczesne, wielowarstwowe systemy C-UAS we współpracy z sojusznikami. Obok już zamówionych systemów Wisła i Narew (które są przeznaczone raczej na większe cele) należy pozyskać środki do zwalczania dronów małego zasięgu. Warto też rozważyć broń wykorzystującą energię skierowaną (w Polsce projekt „ROZMARYN"). Krótkofalowo zaś należy zwiększyć liczbę mobilnych jednostek OPL uzbrojonych w szybkostrzelne działka i Pioruny, rozlokowanych w newralgicznych rejonach (wschodnie granice, okolice obiektów krytycznych).

Przydatne mogą tu być Wojska Obrony Teryrotialnej – po odpowiednim wyposażeniu i przeszkoleniu – jako lokalne grupy antydronowe reagujące na swoim terenie. Ukraina stworzyła mobilne zespoły i okazały się one efektywne w zwalczaniu części celów. Włączenie samorządów w ich działanie (np. zapewnienie paliwa, terenu do ćwiczeń, wsparcia logistycznego) zwiększy synergię między wojskiem a społecznością lokalną;

- instytucje odpowiedzialne za elementy infrastruktury krytycznej (tj. energetyka, transport, telekom) powinny przeprowadzić przegląd zabezpieczeń kluczowych obiektów pod kątem ataków z powietrza. Tam, gdzie to możliwe, należy wdrożyć lokalne systemy antydronowe;
- istotną kwestią wydaje się również organizacja Powszechnej Obrony Powietrznej Ludności Cywilnej z uwzględnieniem specyfiki BSP[20]. Ponadto każdy szczebel samorządu powinien zostać przeszkolony w reagowaniu na zagrożenia z powietrza. Proponuje się organizację warsztatów i ćwiczeń dla władz lokalnych, OSP, policji, aby przećwiczyć scenariusz: „nadlatuje dron – co robić?". Taka symulacja mogłaby obejmować: procedurę ostrzegania mieszkańców, przygotowanie schronów tymczasowych, koordynację z wojskiem (np. zamknięcie przestrzeni powietrznej), postępowanie po ataku (tzw. *post-blast management* – gaszenie pożarów, udzielanie pierwszej pomocy poszkodowanym, usuwanie gruzów, zabezpieczenie dowodów dla śledczych);
- potrzebne są przepisy pozwalające służbom bezzwłocznie zestrzelić lub obezwładnić dron naruszający nasze granice lub zbliżający się do chronionych obiektów, bez długotrwałych analiz prawnych co do własności urządzenia (tzw. *shoot-down authority*). Parlament powinien również uregulować kwestie odpowiedzialności cywilnej za szkody wyrządzone przez dron – np. gdy szczątki zestrzelonego BSP spowodują szkody, poszkodowani powinni mieć jasną ścieżkę uzyskania kompensacji;
- rekomenduje się kampanie informacyjne dla obywateli na temat zagrożeń związanych z dronami i właściwych zachowań. Proste ulotki czy infografiki (rozpowszechniane np. w Internecie, w urzędach gmin) mogłyby wyjaśniać, jak rozpoznać podejrzanego drona, co zrobić, gdy usłyszymy nietypowy odgłos silnika nad głową, gdzie zgłaszać zauważone bezzałogowce latające w pobliżu ważnych miejsc. Ważne jest też poinstruowanie ludności o sygnałach alarmowych i o tym, by w sytuacji alarmu nie filmować zdarzenia dronem własnym (takie sytuacje się zdarzały – ludzie wznosili własne drony z ciekawości, utrudniając identyfikację wrogich).

[20] P. Pacek, *Ocena powszechnej obrony przeciwlotniczej jako dedykowanej formy przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym*, „Kwartalnik Bellona" 2025, t. 720, nr 1, 99–114.

W regionach przygranicznych można zaangażować lokalne społeczności do czegoś na kształt „czujek" – np. myśliwi czy strażacy ochotnicy wyposażeni w lornetki termowizyjne mogliby pomagać wykrywać nisko lecące obiekty (oczywiście w koordynacji z SG i wojskiem).

Podsumowując, zagrożenia wynikające z użycia dronów wobec ludności i infrastruktury są realne i wielowymiarowe – obejmują bezpośrednie ryzyko dla życia, możliwość sparaliżowania kluczowych usług oraz wpływ na psychikę społeczeństwa. Doświadczenia z Ukrainy, Bliskiego Wschodu, a także incydenty na terytorium Polski stanowią cenną lekcję, której nie wolno zlekceważyć. Główny wniosek płynący z tej analizy jest taki, że należy działać proaktywnie: inwestować w adekwatne środki obronne, doskonalić procedury i budować świadomość zagrożenia zanim drony zostaną użyte na większą skalę do wyrządzenia szkód w naszym kraju. Balans sił w tej nowej domenie zagrożeń wciąż można przechylić na stronę obrońców, ale wymaga to strategii obejmującej technologię, organizację i współpracę na wszystkich szczeblach – od społeczności lokalnych po sojusze międzynarodowe. Tylko w ten sposób da się zapewnić, że niebo pozostanie bezpieczne dla zwykłych obywateli, a drony będą służyły pożytecznym celom, nie zaś sianiu terroru i zniszczenia.

## Bibliografia


Barta V., *Connected Commercial Drones*, wyd. 1, Berg Insigh, Szwecja 2024.

Dobija K., *Countering Unmanned Aerial Systems (UAS) in Military Operations*, „Safety & Defense" 2023, t. 9(1).

https://air-alarms.in.ua.

https://ctc.westpoint.edu.

https://edition.cnn.com.

https://scholarship.law.nd.edu.

https://ukraine.ohchr.orghttps://wiadomosci.radiozet.pl.

https://www.csis.org.

https://www.gov.pl.

https://www.pap.pl.

https://www.radio.bialystok.pl.

Kreps S., Lushenko P., *Drones in modern war: evolutionary, revolutionary, or both?*, „Defense & Security Analysis" 2023, nr 39(2).

Michalski D., Michalska A., *Protection against drone activity*, „Security Forum" 2017, t. 1, nr 1.

Pacek P., *Capabilities of air defence in countering uavs in combat conditions – lessons from the russo-ukrainian conflict*, „Aviation and Security Issues" 2026, t. 7(1).

Pacek P., *Ocena powszechnej obrony przeciwlotniczej jako dedykowanej formy przeciwdziałania bezzałogowym statkom powietrznym*, „Kwartalnik Bellona" 2025, t. 720, nr 1.

Radomyski A., *Powietrzny wymiar wojny w Ukrainie. Implikacje dla bezpieczeństwa Polski*, [w:] *Wojna w Ukrainie i jej implikacje dla bezpieczeństwa międzynarodowego*, red. M. Banasik, Difin, Warszawa 2024.

Saltzman I., *From War to Peace in the Middle East*, 2024.

STANAG 4670 – ATP 3.3.8.1, *Minimum Training Requirements For Unmanned Aircraft Systems (UAS) Operators And Pilots*, NATO, Bruksela 2019.

**dr inż. Katarzyna Kostur-Balcerzak**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0000-0002-2552-6709

**dr inż. Tomasz Balcerzak**
Uczelnia Techniczno-Handlowa w Warszawie
ORCID: 0000-0002-3845-998X

# Bezzałogowe statki powietrzne w konflikcie zbrojnym w Ukrainie: wyzwania prawne i technologiczne dla ochrony infrastruktury krytycznej

## Unmanned aerial vehicles in the armed conflict in Ukraine: legal and technological challenges for critical infrastructure protection

**Streszczenie**

Konflikt w Ukrainie charakteryzuje się bezprecedensową skalą użycia bezzałogowych statków powietrznych (UAV, dronów)[1] przez podmioty państwowe i niepaństwowe. Artykuł analizuje ewolucję pola walki napędzaną technologią dronową oraz towarzyszące jej zmiany, a także luki w regulacjach prawnych. Opierając się na przeglądzie literatury, dokumentów prawnych i doniesień prasowych, przedstawiono rozwój technologii dronów, ich zastosowania operacyjne w wojnie w Ukrainie oraz ramy normatywne obejmujące międzynarodowe prawo humanitarne (IHL)[2], międzynarodowe prawo praw człowieka (IHRL)[3] oraz wybrane porządki krajowe.

[1] Określenie „dron" ma charakter potoczny i pochodzi od angielskiego słowa *drone* (truteń), które pierwotnie odnosiło się do jednostajnego dźwięku silnika. W języku prawnym i technicznym stosuje się terminy „bezzałogowy statek powietrzny" (BSP) lub „UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*". Ze względu na powszechność i przystępność w literaturze popularnej i medialnej utrwaliło się jednak określenie „dron", a także wyrażenie „technologia dronowa", które funkcjonują jako uzupełnienie bardziej precyzyjnych definicji prawnych.

[2] Międzynarodowe prawo humanitarne (IHL – *International Humanitarian Law*) – gałąź prawa międzynarodowego regulująca zasady prowadzenia konfliktów zbrojnych, mająca na celu ochronę osób nieuczestniczących bezpośrednio w działaniach wojennych oraz ograniczenie metod i środków walki. Podstawą IHL są konwencje genewskie z 1949 r., protokoły dodatkowe z 1977 i 2005 r., a także prawo zwyczajowe.

[3] Międzynarodowe prawo praw człowieka (IHRL – *International Human Rights Law*) – gałąź prawa międzynarodowego regulująca ochronę podstawowych praw i wolności jednostki zarówno w czasie pokoju, jak i konfliktu zbrojnego.

Artykuł zawiera studia przypadków, wpływ użycia UAV na działania militarne i ludność cywilną oraz problematykę odpowiedzialności, przejrzystości i nadzoru demokratycznego. W zakończeniu zaproponowano rekomendacje dla polityk publicznych, sił zbrojnych i społeczeństwa obywatelskiego, podkreślając konieczność adaptacji prawa do dynamiki rozwoju technologicznego i nowych zagrożeń. Treść artykułu integruje ponadto wątki zastosowań cywilnych UAV w ochronie infrastruktury krytycznej – portów lotniczych i morskich oraz granic – wskazując na transfer doświadczeń z teatru działań wojennych do środowiska bezpieczeństwa publicznego.

**Słowa kluczowe:** wojna dronowa, wojna w Ukrainie, regulacje prawne dotyczące dronów, infrastruktura krytyczna, infrastruktura graniczna

**Abstract**

The conflict in Ukraine is characterized by the unprecedented scale of use of unmanned aerial vehicles (UAVs, drones) by state and non-state actors. This article analyzes the evolution of the battlefield driven by drone technology and the accompanying changes and gaps in legal regulations. Based on a review of literature, legal documents, and press reports, it presents the development of drone technology, its operational use in the war in Ukraine, and the normative framework covering international humanitarian law (IHL), international human rights law (IHRL), and selected national legal systems. The article includes case studies, the impact of UAV use on military operations and civilians, and issues of accountability, transparency, and democratic oversight. The conclusion offers recommendations for public policy, the armed forces, and civil society, emphasizing the need to adapt the law to the dynamics of technological development and new threats. The article also integrates themes related to the civilian use of UAVs in the protection of critical infrastructure airports, seaports, and borders pointing to the transfer of experience from the theater of war to the public security environment.

**Keywords:** drone warfare, war in Ukraine, legal regulations concerning drones, critical infrastructure, border infrastructure

Opiera się na traktatach, takich jak Międzynarodowy Pakt Praw Obywatelskich i Politycznych z 1966 r., Międzynarodowy Pakt Praw Gospodarczych, Społecznych i Kulturalnych z 1966 r. oraz regionalnych systemach ochrony (np. Europejska Konwencja Praw Człowieka).

## Wprowadzenie

Wojna w Ukrainie unaoczniła, że bezzałogowe statki powietrzne (BSP) stały się nie tylko kluczowym elementem współczesnej wojny, lecz również wyzwaniem dla bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej i granicznej. Ich masowe wykorzystanie – od dronów FPV[4] po systemy bojowe i kamikadze – zmieniło dynamikę pola walki, obniżyło koszty prowadzenia działań zbrojnych i przyspieszyło adaptację nowych technologii, w tym sztucznej inteligencji i zaawansowanych systemów komunikacji satelitarnej. Jednocześnie doświadczenia ukraińskie pokazują, że te same technologie mogą i powinny być wykorzystywane do ochrony portów lotniczych i morskich, infrastruktury energetycznej, rafinerii oraz granic państwowych, gdzie UAV pełnią rolę systemów monitorowania, wykrywania i neutralizacji zagrożeń.

W wymiarze prawnym konflikt potwierdził aktualność międzynarodowego prawa humanitarnego i konwencji genewskich, ale też ujawnił luki wynikające z nowych możliwości dronów oraz ich autonomii. Konieczne jest rozwijanie norm prawnych w kierunku technologicznej neutralności, a zarazem ich dookreślanie w sferze ochrony danych, odpowiedzialności operatorów i progu użycia siły wobec bezzałogowych platform w przestrzeni cywilnej. Równolegle należy umacniać regulacje krajowe dotyczące kompetencji służb odpowiedzialnych za przeciwdziałanie zagrożeniom dronowym w pobliżu infrastruktury krytycznej.

Wnioskiem płynącym z analizy jest to, że drony – będąc równocześnie bronią i tarczą – wymagają podejścia systemowego, które łączy technologię, prawo i praktykę operacyjną. Tylko zintegrowane podejście, w którym rozwiązania techniczne (sensory, systemy antydronowe, redundancja infrastruktury) uzupełniane są przez jasne procedury prawne i odpowiedzialność instytucjonalną, może zapewnić skuteczną i etyczną ochronę zarówno w czasie wojny, jak i w okresie pokoju. Ukraina stała się laboratorium nowoczesnej wojny dronowej, a jej doświadczenia stanowią cenny punkt odniesienia dla globalnej debaty nad przyszłością bezpieczeństwa i regulacji prawnych.

Nie sposób precyzyjnie określić liczby i typów dronów wykorzystywanych w wojnie w Ukrainie, ponieważ konflikt trwa, a część danych ma charakter niejawny. Dostępne świadectwa wskazują jednak na systemowe,

[4] Drony FPV (*First Person View*) to BSP sterowane w czasie rzeczywistym z perspektywy pierwszej osoby, za pomocą gogli lub ekranu przekazującego obraz z kamery zamontowanej na dronie. W języku prawnym wciąż klasyfikuje się je ogólnie jako BSP/UAV, natomiast termin FPV ma charakter techniczno-potoczny i został zaadaptowany z lotnictwa sportowego oraz hobbystycznego. W kontekście wojny w Ukrainie pojęcie to upowszechniło się medialnie i oznacza niewielkie, często improwizowane drony wykorzystywane bojowo, mimo że brak jest ich odrębnej definicji w aktach prawnych.

masowe i innowacyjne użycie UAV, które wpływa na taktykę, logistykę, rozpoznanie, precyzję rażenia oraz na ekonomię wojny. Szacunki jednostek liniowych mówią o utracie i eksploatacji rzędu około 10 tys. dronów miesięcznie, co od początku działań przekładałoby się na setki tysięcy platform[5]. Równolegle BBC opisało setki incydentów dronowych na terytorium Rosji i na Krymie, przy czym Kijów nie przyznaje się formalnie do operacji po stronie rosyjskiej granicy, a polityczne deklaracje uzasadniają takie uderzenia jako „nieuniknione" z punktu widzenia prawa do samoobrony[6]. W 2024 r. Kijów zadeklarował strategię „miliona dronów FPV", co odzwierciedla świadome przechylenie wysiłku obronnego w stronę platform tanich, licznych i adaptowalnych, umożliwiających rażenie celów o znacznie wyższej wartości[7]. Ten zwrot jest wzmacniany rosnącą rolą „produkcji społecznej", improwizowanych modernizacji oraz integracji prostych układów wizyjnych i elementarnych algorytmów AI na brzegu pola walki, które ograniczają zależność od wąskich gardeł łączności[8].

## Kontekst historyczny rozwoju wojny dronowej

Geneza wojny z udziałem bezzałogowców sięga zimnej wojny, lecz dopiero postęp w miniaturyzacji sensorów, stabilizacji, transmisji danych i nawigacji satelitarnej, a także w rozwoju amunicji precyzyjnej, uczynił drony narzędziem powszechnym. W literaturze podkreśla się przejście od łańcucha zabicia (*kill chain*)[9] do sieci zabicia (*kill web*)[10], gdzie czujniki, efektory i środki rażenia są splatane w chmurę rozproszonych węzłów,

[5] CBS News, *Ukraine drone unit tells CBS $40 million dollars Russia military hardware destroyed*, https://www.cbsnews.com/news/ukraine-drone-unit-tells-cbs-40-million-dollars-russia-military-hardware-destroyed [dostęp: 6.09.2025].

[6] BBC, *Ukraine war: Drones over Moscow/Kremlin*, https://www.bbc.com/news/world-europe-65475333 [dostęp: 6.09.2025].

[7] Euronews, *Ukraine: Two years of war in figures*, https://www.euronews.com/2024/02/24/ukraine-two-years-of-war-in-figures [dostęp: 6.09.2025].

[8] D. Kunertová, *Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine*, „Contemporary Security Policy" 2023, t. 44, nr 4.

[9] Łańcuch zabicia (*kill chain*) – pojęcie używane w naukach o bezpieczeństwie i wojskowości na określenie sekwencji działań prowadzących do neutralizacji celu: identyfikacji, namierzenia, wyboru środka rażenia, ataku oraz oceny skutków. W kontekście współczesnych konfliktów, w tym użycia dronów, termin ten bywa zastępowany koncepcją *kill web*, wskazującą na sieciowość i większą elastyczność w procesie decyzyjnym.

[10] Sieć zabicia (*kill web*) – rozwinięcie koncepcji łańcucha zabicia (*kill chain*), w której proces identyfikacji, namierzenia i neutralizacji celu nie przebiega liniowo, lecz w sposób sieciowy i rozproszony. W praktyce oznacza to integrację wielu platform (np. satelitów, dronów, sensorów, systemów dowodzenia i uzbrojenia) działających równolegle, co umożliwia szybsze podejmowanie decyzji i większą elastyczność na polu walki.

a bezzałogowce pełnią funkcje rozpoznawcze, uderzeniowe i logistyczne[11]. Równolegle techno-polityka dronów wiąże się z dylematami znanymi z wcześniejszych rewolucji militarnych: obniżeniem progu użycia siły, asymetrią między kosztami ataku i obrony, ekspozycją cywilów na nadzór oraz trudnościami w atrybucji[12]. Splot tych czynników czyni Ukrainę laboratorium taktyk, kontrtaktyk i środków przeciwdziałania, którego wnioski kształtują doktryny na całym świecie.

## Tło wojny w Ukrainie i wykorzystanie dronów

Rosyjska agresja na pełną skalę doprowadziła do przeobrażenia przestrzeni powietrznej regionu, w tym zamknięcia ruchu pasażerskiego nad Ukrainą, Rosją, Białorusią i Mołdawią oraz znaczących kosztów zmian tras lotu przewoźników komercyjnych[13]. W wymiarze operacyjnym Rosja konsekwentnie łączy środki dalekiego rażenia z saturacyjnymi uderzeniami dronami-kamikadze, m.in. typu Shahed-136 (Gerań), poruszającymi się z niewielką prędkością i z niskiej wysokości w celu przeciążania obrony powietrznej[14]. Ukraina odpowiada mieszaniną platform: od quadrokopterów FPV i stałopłatów krótkiego zasięgu, przez systemy klasy MALE[15] (np. Bayraktar TB2), po bezzałogowce morskie prowadzące głośne ataki na cele w Sewastopolu i okolicach Cieśniny Kerczeńskiej[16].

---

[11] The Economist, *The war in Ukraine shows how technology is changing the battlefield*, https://www.economist.com/special-report/2023/07/03/the-war-in-ukraine-shows-how-technology-is-changing-the-battlefield [dostęp: 6.09.2025].

[12] M.J. Boyle, *The legal and ethical implications of drone warfare*, „The International Journal of Human Rights" 2015, t. 19(2), s. 105–126; trudności w atrybucji – pojęcie odnoszące się do problemu jednoznacznego ustalenia sprawcy ataku w cyberprzestrzeni lub przy użyciu technologii zdalnych, takich jak drony. Wynika to z możliwości ukrywania źródła ataku, wykorzystywania pośredników czy fałszowania sygnałów sterujących. W konsekwencji przypisanie odpowiedzialności państwu lub konkretnej organizacji bywa skomplikowane w wymiarze prawnym i politycznym.

[13] M. Żmigrodzka, *Aviation in the era of the Russian-Ukrainian war*, „Scientific Journal of Safety and Logistics" 2023, t. 1, nr 1, s. 2.

[14] Reuters, *Graphics: Ukraine crisis – drones*, https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/DRONES/dwpkeyjwkpm [dostęp: 6.09.2025]; Janes, *IRGC confirms specs for Shahed-136 attack UAV*, https://www.janes.com/defence-news/news-detail/irgc-confirms-specs-for-shahed-136-attack-uav [dostęp: 6.09.2025].

[15] Klasa MALE (*Medium Altitude Long Endurance*) – kategoria BSP zdolnych do wykonywania długotrwałych lotów (powyżej 24 godz.) na średnich pułapach (około 3–9 tys. m). Drony tej klasy, takie jak Bayraktar TB2 czy MQ-9 Reaper, znajdują szerokie zastosowanie w rozpoznaniu, obserwacji i prowadzeniu ataków precyzyjnych.

[16] J. Skóra, *Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa w państwie*, „Aviation And Security Issues" 2022, nr 1, s. 61; *Ukrainian drones attack Pskov airfield. Day 554 of the war*, https://www.osw.waw.pl/en/publikacje/analyses/2023-09-01/ukrainian-drones-attack-pskov-airfield-day-554-war [dostęp: 6.09.2025]; *Russia sees biggest drone assault on its own territory since invading Ukraine, as Kyiv strikes back through the skies*, https://edition.

W badanym okresie odnotowano również szereg uderzeń w głąb Federacji Rosyjskiej, m.in. w Pskowie, które wymusiły czasowe wstrzymanie ruchu na moskiewskich lotniskach i uszkodziły wojskowe samoloty transportowe[17]. Wątek dronów morskich zasługuje na wyróżnienie: po raz pierwszy w historii doszło do skoordynowanych ataków z użyciem rojów platform nawodnych i powietrznych na bazę Floty Czarnomorskiej, co potwierdziło, że logika kill web obejmuje domenę morską, a koszty odmowy dostępu mogą być przerzucone na stronę cięższą i bogatszą.

## Ramy prawne użycia dronów

Na działania zbrojne w Ukrainie znajdują zastosowanie konwencje genewskie i zwyczajowe IHL, a także mechanizmy odpowiedzialności karnej oparte na Statucie Rzymskim MTK[18], co w debacie publicznej Zachodu jest często wskazywane jako właściwa ścieżka rozliczeń za zbrodnie wojenne[19]. Drony nie wymykają się tym ramom: prawo konfliktów zbrojnych nie różnicuje środka rażenia co do zasady, lecz ocenia zgodność z zasadami rozróżnienia, proporcjonalności i ostrożności w ataku. Jednocześnie drony komplikują stosowanie tych zasad operacyjnie i dowodowo: zwiększają „gęstość" użycia siły, rozciągają łańcuch decyzyjny, rozmazują granice między polem walki a zapleczem cywilnym[20]. Na styku z IHRL pojawia się spór o eksterytorialne zastosowanie zobowiązań praw człowieka, zwłaszcza przy długotrwałych kampaniach z zabójstwami ukierunkowanymi[21] w warunkach poniżej progu międzynarodowego konfliktu zbrojnego.

cnn.com/2023/08/30/europe/ukraine-russia-drone-strikes-wednesday-intl/index.html [dostęp: 6.09.2025].

[17] *Russia sees biggest drone...*, dz. cyt.; Reuters, *Russia's biggest drone strike in weeks hits Ukrainian infrastructure*, https://www.reuters.com/world/europe/russian-drones-hit-civilian-target-ukraines-kharkiv-officials-say-2023-11-02[dostęp:6.09.2025].

[18] Statut Rzymski Międzynarodowego Trybunału Karnego (MTK) – traktat przyjęty 17 lipca 1998 r. w Rzymie, stanowiący podstawę prawną działalności MTK w Hadze. Określa jurysdykcję trybunału w zakresie najpoważniejszych zbrodni międzynarodowych: ludobójstwa, zbrodni przeciwko ludzkości, zbrodni wojennych oraz zbrodni agresji.

[19] T. Balcerzak, A. Konert, *Is it a bird? Is it a robot? Is it a plane? Law and ethical aspects on the rules for the operation of autonomous and semi-autonomous unmanned aircraft*, 2023.

[20] Hoover Institution, *The legal framework for the use of drones in war*, https://www.hoover.org/research/legal-framework-use-drones-war [dostęp: 6.09.2025]; M.J. Boyle, *The legal and ethical implications...*, dz. cyt.

[21] Zabójstwa ukierunkowane (*targeted killings*) – termin stosowany w odniesieniu do celowych, premedytowanych działań państwa polegających na pozbawieniu życia osoby uznanej za zagrożenie, zazwyczaj przy użyciu dronów lub innych środków zdalnych. W literaturze i praktyce prawa międzynarodowego budzą kontrowersje, ponieważ mieszczą się na styku działań wojennych, zwalczania terroryzmu i ochrony praw człowieka.

Krytycy wskazują na ryzyko powstania zjawiska „permanentnego pola bitwy" oraz zmniejszenia gwarancji zachowania procedur humanitarnych. W takich warunkach decyzja o życiu i śmierci podejmowana jest z dala od pola walki[22]. Problemem pozostaje gwałtowny rozwój AI – również w funkcjach percepcyjnych i naprowadzania – który rodzi pytania o odpowiedzialność, możliwość audytu algorytmów oraz o minimalne wymogi znaczącej kontroli człowieka nad użyciem śmiercionośnej siły[23].

## Zmiany regulacyjne: wyzwania i odpowiedzi

Mimo licznych inicjatyw doktrynalnych i politycznych międzynarodowe prawo nie doczekało się jeszcze kompleksowego „traktatu dronowego". Państwa odwołują się do instrumentów ogólnych (IHL/IHRL), rezolucji miękkiego prawa i wytycznych operacyjnych. Na poziomie krajowym intensywnie rozwijane są przepisy lotnictwa cywilnego, np. rejestracyjne, handlowe, podczas gdy specyfika użyć bojowych pozostaje w domenie prawa wojennego. Z perspektywy Ukrainy i Rosji kluczowe są również nakładane sankcje i kontrola transferów technologii tzw. podwójnego zastosowania, (np. sankcje USA i UE na irańskie podmioty wspierające dostawy Shahedów)[24]. Drony, które mogą w warunkach pokoju być używane do celów komercyjnych podczas konfliktu zbrojnego, mogą zamienić się w groźną broń. Trudnością z poziomu systemu jest polityka ratyfikacyjna i wdrożeniowa. Podmioty korzystające z dotychczasowych luk prawnych, mają ograniczoną motywację do przyjmowania czy respektowania nowych norm. Jednocześnie, twórcy technologii dronowej zwracają uwagę, iż zbyt wczesne, „robocze" regulacje mogą szybko ulec dezaktualizacji wobec tempa innowacji. Z tych powodów, zainteresowane podmioty postulują za wprowadzaniem możliwie neutralnych zmian prawnych przy zastosowaniu twardych wymogów z zakresu audytu i prowadzenia dokumentacji, które ułatwią dochodzenie odpowiedzialności w przyszłości[25].

---

22 M.J. Boyle, *The legal and ethical implications...*, dz. cyt.

23 CNBC, *AI potentially more dangerous than nukes, Musk warns*, https://www.cnbc.com/2014/08/04/ai-potentially-more-dangerous-than-nukes-musk-warns.html [dostęp: 6.09.2025].

24 Federal Register, *Additional designation of entities pursuant to E.O. 13382*, https://www.federalregister.gov/documents/2008/10/28/E8-25600/additional-designation-of-entities-pursuant-to-executive-order-13382 [dostęp:6.09.2025]; EUR-Lex 2012 L88/1, *Sankcje UE*, https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:088:0001:0112:en:PDF [dostęp: 6.09.2025]; Reuters, *Construction progresses at Russian plant for Iranian drones*, https://www.reuters.com/article/ukraine-crisis-russia-droneplant/construction-progresses-at-russian-plant-for-iranian-drones-report-idUSL1N3CE2MS [dostęp: 6.09.2025].

25 Hoover Institution, *The legal framework...*; M.J. Boyle, *The legal and ethical implications...*, dz. cyt.

## Studium przypadków z pola walki

Wczesna faza wojny przyniosła spektakularny rozgłos dronom Bayraktar TB2 klasy MALE, zdolnym do przenoszenia kierowanych bomb i prowadzenia ISR. Z czasem ich podatność na nowoczesną OPL[26] ograniczyła rolę tych platform do zadań niszowych np. w tzw. oknach taktycznych[27], co potwierdzały nawet ukraińskie źródła, zestawiając wartość PR-ową z realną przeżywalnością dronów w przestrzeni pola walki[28]. W odpowiedzi masowo zaadaptowano ultratanie FPV (jednostkowym koszcie rzędu kilkuset dolarów) z ładunkami odłamkowymi i kumulacyjnymi, zdolne do precyzyjnego rażenia czołgów i innych pojazdów[29]. Z kolei po stronie rosyjskiej szeroko stosowano Shahed-136, przenoszące głowice ok. 40–50 kg, których uderzenia wymierzone w infrastrukturę energetyczną i przemysłową przynosiły straty humanitarne i ekonomiczne, a współczynnik zestrzeleń przez obronę powietrzną zmieniał się wraz z dostosowaniem taktyk i nowych sensorów[30]. Udokumentowano uderzenia ukraińskich tańszych wersji UAV w rosyjskie cele logistyczne, co skutkowało wywołaniem pożarów w rejonie rafinerii czy magazynów ropy. Ataki tego typu mają znaczenie strategiczne, które wynika nie tylko z wywołanych szkód bezpośrednich (zniszczenie infrastruktury, pożar, chaos), lecz także efektów systemowych, np. zniszczona infrastruktura portu morskiego hamuje zdolności eksportowe rejonu[31].

---

[26] Nowoczesna OPL (obrona przeciwlotnicza) – system wojskowy obejmujący zintegrowane środki wykrywania, śledzenia i zwalczania celów powietrznych, takich jak samoloty, rakiety czy drony. Współczesne systemy OPL wykorzystują radary wielofunkcyjne, rakiety ziemia–powietrze, broń laserową i środki walki radioelektronicznej, umożliwiając zwalczanie również małych i trudno wykrywalnych BSP.

[27] Okna taktyczne – pojęcie używane w analizie działań zbrojnych na określenie krótkotrwałych, sprzyjających warunków operacyjnych, które można wykorzystać do przeprowadzenia skutecznego ataku lub manewru. W kontekście użycia dronów odnosi się do chwilowych luk w obronie przeciwnika, np. w systemie radarowym czy OPL, pozwalających na skuteczne przeniknięcie i rażenie celu.

[28] Wypowiedzi S. Paszyńskiego w sprawie Bayraktarów oraz komentarze medialne: „Kresy", „Radar RP" i inne materiały prasowe przywołane przez autora (dostęp w przypisach źródłowych); charakterystyki TB2: M. Strembski, *Bayraktar TB2*, „Lotnictwo" 2020, nr 11; Ł. Pacholski, *Bezzałogowe Bayraktary TB2 dla SZ RP*, „Wojsko i Technika" 2021, nr 6.

[29] Demokratyzacja ognia precyzyjnego – termin odnoszący się do zjawiska upowszechnienia dostępu do środków rażenia precyzyjnego, które wcześniej były zarezerwowane wyłącznie dla największych mocarstw. Rozwój i spadek kosztów technologii dronowej sprawił, że także państwa średnie, a nawet aktorzy niepaństwowi, mogą stosować precyzyjne ataki z użyciem tanich i powszechnie dostępnych BSP.

[30] SPECIAL-OPS, *Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych kategorii VTOL w ochronie granic państwowych*, https://www.special-ops.pl/artykul/uzbrojenie/116512%2Czastosowanie-bezzalogowych-statkow-powietrznych-kategorii-vtol-w-ochronie-granic-panstwowych [dostęp: 6.09.2025].

[31] M. Wiącek, *W Dęblinie o bezpieczeństwie portów lotniczych i morskich*, https://zbiam.pl/w-deblinie-o-bezpieczenstwie-portow-lotniczych-i-morskich [dostęp: 6.09.2025].

W wymiarze informacyjnym i PR głośnym stał się incydent z nocnym przelotem dronów nad Kremlem, wykorzystywany propagandowo przez obie strony[32].

## Konsekwencje etyczne i prawa człowieka

Drony obniżają ryzyko po stronie atakującego poprzez precyzyjne rażenie, ograniczając straty ludzkie, ale tylko przy spełnieniu rygorystycznych warunków rozpoznania. Krytycy wykorzystania technologii dronów na polu walki wskazują na „łatwość" zastosowania większej siły niż koniecznej. Drony sprzyjają „wojnie na dystans" oraz utrudniają społeczną kontrolę eskalacji konfliktu. W literaturze etycznej podnoszony jest problem zabójstw ukierunkowanych przeprowadzanych z dystansu, a także długofalowych efektów psychicznych u żołnierzy po obu stronach konfliktu. Nie bez znaczenia pozostaje stwarzanie środowiska ciągłego zagrożenia dla społeczności cywilnych[33]. Z praktycznego punktu widzenia konfliktu w Ukrainie drony ratują życie żołnierzy np. podczas rozpoznania, ewakuacji i rozminowania, lecz równocześnie zwiększają intensywność ognia w pobliżu obiektów cywilnych. Stąd konieczność inwestycji w transparentne rejestry działań, audytowalne ścieżki celowania i inne narzędzia rejestrujące[34], które umożliwią późniejszą ocenę proporcjonalności zastosowanych środków do celu i zebranie dowodów na okoliczność pociągania do odpowiedzialności. Wyzwaniem długoterminowym jest też ograniczenie efektu naśladownictwa[35]. Efekt polega na zastosowaniu w dronach systemów intuicyjnych, co umożliwia łatwe opanowanie podstawowych funkcji urządzenia. To z kolei skutkuje szybką adaptacją społeczeństwa do wykorzystania drona w niebezpieczny sposób. Pomysły na zastosowanie drona można przekazać za pomocą Internetu, nie wymaga to specjalistycznego szkolenia. Drony stają się środkami rażenia dla podmiotów nieregularnych, w tym terrorystycznych.

---

32 SPECIAL-OPS, *Zastosowanie bezzałogowych statków...*, dz. cyt.

33 Hoover Institution, *The legal framework...*, dz. cyt.; M.J. Boyle, *The legal and ethical implications...*, dz. cyt.

34 Audytowalne logi celowania i łańcuchy dowodowe – pojęcia odnoszące się do dokumentowania procesu podejmowania decyzji w trakcie użycia systemów uzbrojenia, w tym dronów bojowych. Logi celowania to zapisy techniczne i operacyjne dotyczące wyboru i rażenia celu, które mogą być później analizowane pod kątem zgodności z prawem międzynarodowym. Łańcuchy dowodowe wskazują natomiast na kolejność osób i instytucji odpowiedzialnych za podjęcie decyzji.

35 Efekt naśladownictwa – zjawisko polegające na tym, że skuteczne użycie określonej technologii wojskowej (np. dronów w wojnie w Ukrainie) zachęca inne państwa lub aktorów niepaństwowych do kopiowania podobnych rozwiązań. Prowadzi to do szybkiego rozprzestrzeniania się nowych metod walki, obniżając barierę wejścia do stosowania zaawansowanego uzbrojenia.

W praktyce wymaga się lepszej kontroli łańcuchów dostaw i rozwoju systemów antydronowych w przestrzeniach publicznych[36].

## Transfer doświadczeń do ochrony infrastruktury krytycznej

Wnioski z Ukrainy silnie oddziałują na praktyki ochrony portów lotniczych, morskich i granic. Drony – jako latające sensory mobilne – zapewniają monitoring rozległych obszarów, szybkie wykrywanie anomalii i wsparcie akcji poszukiwawczo-ratowniczych. W lotniskach zintegrowane z systemami zarządzania bezpieczeństwem mogą patrolować, wykrywać nieautoryzowane UAV i prowadzić inspekcje krytycznych elementów infrastruktury w warunkach ograniczonej widoczności dzięki kamerom termowizyjnym i multispektralnym[37]. W portach morskich stanowią uzupełnienie dozoru wizyjnego, kontrolują zbiorniki, nabrzeża i magazyny, a także współpracują z bezzałogowymi jednostkami nawodnymi lub podwodnymi. Na granicach państwowych systemy VTOL o długiej długotrwałości lotu, wsparte analityką obrazu i algorytmami wykrywania obiektów, umożliwiają skuteczny dozór trudno dostępnych odcinków w czasie zbliżonym do rzeczywistego, co zwiększa efektywność interwencji służb. Równolegle rośnie znaczenie cyberbezpieczeństwa łączności i odporności na zakłócenia radioelektroniczne, a także kwestii prywatności – przetwarzania danych biometrycznych i przechowywania nagrań – co wymaga jasnych polityk przechowywania i szyfrowania danych. W polskich i europejskich dyskusjach eksperckich akcentuje się potrzebę wzrostu autonomii, standaryzacji i interoperacyjności systemów oraz budowy „warstwowej" architektury antydronowej wokół węzłowych obiektów infrastruktury[38]. Te wnioski są spójne z kierunkami rozwoju opisanymi w opracowaniu o UAV w ochronie portów i granic, które wskazuje na rosnącą autonomię, integrację z AI i zwiększanie odporności na zakłócenia jako filary dalszej profesjonalizacji tego segmentu bezpieczeństwa publicznego[39].

---

[36] M.J. Boyle, *The legal and ethical implications*..., dz. cyt., s. 105–126; Hoover Institution, *The legal framework*..., dz. cyt.

[37] Kamery termowizyjne i multispektralne – specjalistyczne sensory optoelektroniczne montowane na dronach i innych platformach rozpoznawczych. Kamery termowizyjne rejestrują promieniowanie podczerwone emitowane przez obiekty, co umożliwia wykrywanie ludzi, pojazdów czy instalacji w nocy i w warunkach ograniczonej widoczności. Kamery multispektralne działają w wielu pasmach elektromagnetycznych, co pozwala na bardziej zaawansowaną analizę obrazu, np. rozróżnianie typów materiałów, maskowania lub uszkodzeń infrastruktury.

[38] SPECIAL-OPS, *Zastosowanie bezzałogowych statków*..., dz. cyt.

[39] D. Bogusz, *Security theater in civil aviation*, „Scientific Journal of Safety and Logistics" 2023, t. 1, nr 1.

## Ochrona infrastruktury granicznej i krytycznej: wnioski prawne i technologiczne

Doświadczenia ukraińskiego pola walki unaoczniły, że skuteczna obrona przed zagrożeniami dronowymi wymaga połączenia wielowarstwowego systemu technicznego połączonego z procedurami nadzoru. W wymiarze technicznym pierwszą lekcją jest konieczność pełnego obrazu sytuacyjnego łączącego sensory heterogeniczne, w tym radary mało wysokościowe zdolne do wykrywania celów o niewielkim przekroju radarowym, pasywne detektory emisji radiowych do lokalizacji łączy sterowania i transmisji FPV oraz głowice elektrooptyczne i termowizyjne do potwierdzania identyfikacji w warunkach zakłóceń i maskowania. Wojna pokazała, że przeciwnik adaptuje się szybko, zmieniając częstotliwości, profile lotu i sposoby naprowadzania, co wymusza płynne przejście od detekcji do efektora w ramach jednego, zintegrowanego C2[40]. W praktyce oznacza to łączenie środków niekinetycznych i kinetycznych: zakłócania i przejmowania łącza (RF *jamming* i *spoofing*)[41], *geofencingu* i zdalnego wyłączania dla dronów zgodnych z normami cywilnymi, a w stosunku do platform odpornych na WRE[42] – użycia przechwytujących UAV, kinetycznych wyrzutni bliskiego zasięgu, strzelb falowych bądź siatek, oraz systemów laserowych w środowiskach o wysokiej gęstości zagrożeń. Kluczowe jest, aby warstwa C-UAS[43] była domknięta procedurami szybkiej kwalifikacji zagrożenia, ponieważ infrastruktura

[40] Zintegrowany C2 (*Command and Control*) – system dowodzenia i kierowania, który integruje informacje z różnych źródeł (np. radarów, satelitów, dronów, jednostek bojowych) i umożliwia ich przetwarzanie w czasie rzeczywistym. Celem zintegrowanego C2 jest zapewnienie sprawnego obiegu informacji oraz koordynacji działań na polu walki, co zwiększa skuteczność podejmowania decyzji i prowadzenia operacji.

[41] RF *jamming* i *spoofing* – techniki zakłócania i oszukiwania sygnałów radiowych wykorzystywanych do komunikacji i nawigacji dronów. RF *jamming* polega na zagłuszaniu sygnału sterującego lub GPS poprzez emisję silniejszych fal radiowych, co prowadzi do utraty kontroli nad urządzeniem. *Spoofing* oznacza podszywanie się pod sygnał nawigacyjny (np. GPS), aby wprowadzić drona w błąd co do jego pozycji lub trasy lotu. Oba zjawiska stanowią istotne wyzwanie dla bezpieczeństwa operacji UAV.

[42] Odporność na WRE (walkę radioelektroniczną) – określenie odnoszące się do dronów i innych systemów wojskowych wyposażonych w technologie chroniące je przed zakłóceniami i atakami elektronicznymi (m.in. RF *jamming* czy *spoofing*). Odporność na WRE obejmuje m.in. stosowanie zabezpieczonych kanałów komunikacji, szyfrowania, wielopasmowych systemów łączności oraz algorytmów umożliwiających autonomiczne działanie w warunkach utraty sygnału.

[43] C-UAS (*Counter-Unmanned Aircraft Systems*) – systemy przeznaczone do wykrywania, identyfikowania, śledzenia i neutralizowania BSP. Mogą wykorzystywać różne środki, od rozwiązań kinetycznych (np. rakiety, działa, drony przechwytujące), po niekinetyczne (np. zakłócanie łączności radiowej, przejmowanie sygnału sterującego czy broń mikrofalową). C-UAS stanowią kluczowy element ochrony infrastruktury krytycznej przed zagrożeniami ze strony dronów.

krytyczna funkcjonuje w przestrzeni wspólnej z ruchem cywilnym (drony UTM/U-space)[44]; to wymaga interoperacyjności z rejestrami zdalnej identyfikacji (Remote ID)[45] i z miejscowymi służbami zarządzania ruchem bezzałogowym. W portach lotniczych i morskich, a także na granicach, drony ochronne powinny mieć uprawnienia do natychmiastowej odpowiedzi i dynamiki pościgu, ale jednocześnie muszą pracować według zasady zastosowania minimalnej siły względem obiektów cywilnych. Jest to spójne z praktyką i rekomendacjami ekspertów sektora bezpieczeństwa infrastruktury[46] oraz z wnioskami z opracowania o UAV w ochronie portów i granic[47].

Wnioski organizacyjne obejmują rozproszenie ochrony. Ataki roju FPV i dronów kamikadze przeciwko węzłom energetycznym i paliwowym w Ukrainie pokazały, że fizyczna osłona punktów krytycznych (osłony, siatki, maskowanie termiczne, segmentacja pól transformatorowych, szybko zamykające sekcje instalacji) musi iść w parze z dywersyfikacją łańcuchów dostaw energii i paliw oraz z planami awaryjnymi sterowania ruchem i produkcją – tak aby zniszczenie jednego obiektu nie wpływało na działanie innych obszarów. Równolegle należy przygotować „cyfrową obronę obwodową": odseparowane, szyfrowane łącza dla systemów bezpieczeństwa, białe listy częstotliwości, monitoring spójności sygnałów GNSS[48] oraz testy penetracyjne pod kątem wrogich modyfikacji firmware'u komponentów podwójnego zastosowania. Z perspektywy służb granicznych skuteczna ochrona w terenie leśnym, górskim czy rzecznym wymaga stałych dyżurnych „parasoli" VTOL z długą trwałością lotu oraz autonomicznych patroli wyposażonych

[44] UTM (*Unmanned Traffic Management*) / U-space – koncepcje zarządzania ruchem BSP w przestrzeni powietrznej. UTM rozwijany jest głównie w USA (inicjatywa FAA i NASA), natomiast U-space stanowi europejski odpowiednik opracowany przez EASA. Systemy te obejmują rozwiązania techniczne, regulacyjne i proceduralne pozwalające na bezpieczną integrację dronów z tradycyjnym ruchem lotniczym, w tym automatyczne planowanie tras, unikanie kolizji i wymianę danych w czasie rzeczywistym.

[45] Remote ID – system identyfikacji zdalnej dronów umożliwiający przekazywanie w czasie rzeczywistym podstawowych informacji o bezzałogowcu (m.in. numer rejestracyjny, pozycję, wysokość, trasę lotu) do organów nadzoru i innych użytkowników przestrzeni powietrznej. Rozwiązanie to, wprowadzane m.in. w USA i Unii Europejskiej, ma na celu zwiększenie bezpieczeństwa lotów oraz ułatwienie egzekwowania przepisów w zakresie korzystania z dronów.

[46] SPECIAL-OPS, *Zastosowanie bezzałogowych statków...*, dz. cyt.; M. Wiącek, *W Dęblinie...*, dz. cyt.

[47] SPECIAL-OPS, *Zastosowanie bezzałogowych statków...*, dz. cyt.

[48] Sygnały GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) – sygnały nawigacyjne emitowane przez satelity systemów pozycjonowania globalnego, takich jak GPS (USA), Galileo (UE), GLONASS (Rosja) czy BeiDou (Chiny). Wykorzystywane są do określania położenia, prędkości i czasu przez drony oraz inne systemy. Zakłócanie lub fałszowanie sygnałów GNSS (np. *jamming* lub *spoofing*) stanowi istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa operacji UAV.

w algorytmy wykrywania ludzi i pojazdów z możliwością strumieniowania danych do centrów reagowania. Rozsądnym wnioskiem z frontu jest rozdzielenie funkcji: drony ISR[49] powinny tworzyć nieprzerwaną siatkę detekcji, a efektory i zespoły interwencyjne pozostawać w gotowości poza linią wzroku, co skraca czas od wykrycia do obezwładnienia napastnika. Rozwiązania powiązane z autonomią, integracją dronów z AI, odpornością na zakłócenia są już analizowane w podmiotach polskich i europejskich[50].

Zmiany w prawie muszą nadążać za techniką. Podstawą jest jasne umocowanie kompetencji reagowania antydronowego na poziomie krajowym: kto, w jakich warunkach, z użyciem jakich środków może wykrywać, zakłócać, przejmować albo niszczyć drona nad lub w pobliżu infrastruktury krytycznej i granic. Doświadczenie Ukrainy pokazuje, że decyzje muszą zapadać na najniższym możliwym poziomie dowodzenia, w ramach wcześniej zatwierdzonych „matryc reakcji" i procedur współdzielenia odpowiedzialności, z obowiązkową rejestracją działań misji. Z punktu widzenia prawa międzynarodowego należy zestawić suwerenne prawo państwa do ochrony przestrzeni powietrznej i obiektów krytycznych z gwarancjami wolności obywatelskich, w szczególności prywatności i ochrony danych, gdyż operatorem detekcji jest nierzadko organ publiczny lub podmiot działający w sferze publicznej. Konieczne jest więc precyzyjne uregulowanie przechowywania materiału wizyjnego i telemetrycznego, zasad udostępniania go innym służbom, a także progu użycia środków przymusu bezpośredniego wobec urządzenia i potencjalnie jego operatora, jeżeli działa poza strefą konfliktu. W kontekście wojny i działań hybrydowych prawo powinno odróżniać incydenty o charakterze kryminalnym od operacji o cechach dywersji zewnętrznej, aby adekwatnie stosować zasady odpowiedzialności i współpracy międzynarodowej. Biorąc pod uwagę tempo innowacji, przepisy powinny być relatywnie neutralne[51].

W praktyce wdrożeniowej rekomenduje się, aby operatorzy portów i infrastruktury, a także straż graniczna, przyjęli trójstopniowy model zarządzania ryzykiem: po pierwsze, zapobieganie dzięki strefom *geofencing*[52],

---

[49] Drony ISR (*Intelligence*, *Surveillance*, *Reconnaissance*) – BSP przeznaczone do działań wywiadowczych, obserwacyjnych i rozpoznawczych. Wyposażone w zaawansowane sensory (optyczne, termowizyjne, multispektralne, radarowe) służą do gromadzenia danych o przeciwniku, monitorowania pola walki oraz wspierania procesu decyzyjnego w czasie rzeczywistym.

[50] SPECIAL-OPS, *Zastosowanie bezzałogowych statków...*, dz. cyt.; M. Wiącek, *W Dęblinie...*, dz. cyt.; M. Pyzynski, T. Balcerzak, *Cybersecurity of the Unmanned Aircraft System (UAS)*, „Journal of Intelligent & Robotic Systems" 2021, t. 102, nr 35.

[51] M.J. Boyle, *The legal and ethical implications...*, dz. cyt., s. 105–126; Hoover Institution, *The legal framework...*, dz. cyt.; M. Wiącek, *W Dęblinie...*, dz. cyt.

[52] Strefy *geofencing* – wirtualne bariery wyznaczane w przestrzeni powietrznej przy pomocy oprogramowania i danych GPS/GNSS. Umożliwiają ograniczenie

rejestrom lotów i integracji z U-space; po drugie, wykrywanie i opóźnianie dzięki zastosowaniu czujników i WRE[53]. Model ten powinien być oparty na regularnych ćwiczeniach z udziałem wszystkich interesariuszy, w tym służb ratowniczych i porządkowych, oraz na wspólnej bazie incydentów i najlepszych praktyk. Taki kierunek – łączący sensoring, natychmiastową reakcję i inspekcję infrastruktury w czasie rzeczywistym – został już szeroko opisany w dostarczonym opracowaniu o zabezpieczeniu portów, portów morskich i granic przy pomocy UAV, które podkreśla też wagę szyfrowania transmisji i standardów bezpieczeństwa danych jako warunku dalszej autonomizacji systemów[54].

## Podsumowanie

Doświadczenie wojny w Ukrainie potwierdza, że drony stały się jednym z najważniejszych elementów nowoczesnego teatru działań. Ich przewagi – świadomość sytuacyjna, precyzja, elastyczność i ekonomia skali – równoważone są przez rosnące zdolności przeciwdziałania, w tym walkę radioelektroniczną i sieciową obronę powietrzną. W wymiarze prawnym brakuje dedykowanego traktatu. Jest szansa na wdrożenie odpowiednich regulacji, o ile państwa zapewnią realną przejrzystość nowopowstałym przepisom, zapewnią audytowalność użytkowników. Rekomenduje się, po pierwsze, przyjęcie istniejących krajowych przepisów w całym cyklu użycia siły w konflikcie zbrojnym[55]; po drugie, wdrożenie obowiązku prowadzenia nienaruszalnych narzędzi rejestrujących misję dla potrzeb legalności i proporcjonalności; po trzecie, harmonizację zasad nabywania, eksportu i reeksportu komponentów podwójnego zastosowania dronów,

lotów dronów do określonych obszarów lub zakaz ich wlotu w strefy chronione (np. wokół lotnisk, obiektów wojskowych czy infrastruktury krytycznej). Funkcja *geofencingu* jest coraz częściej stosowana jako środek prewencyjny w systemach bezpieczeństwa i regulacjach prawnych.

[53] Fizyczne twardnienie obiektów – termin odnoszący się do wzmacniania infrastruktury krytycznej i obiektów wojskowych w celu zwiększenia ich odporności na ataki kinetyczne oraz cybernetyczne. Może obejmować zarówno środki inżynieryjne (np. wzmocnione schronienia, dodatkowe osłony, materiały pochłaniające energię uderzenia), jak i rozwiązania techniczne ograniczające podatność systemów elektronicznych na zakłócenia czy ataki z użyciem dronów.

[54] T. Balcerzak, *Bezpieczeństwo pasażerów, samolotów i infrastruktury wobec aktualnych zagrożeń – rozwiązania i technologie*, Warszawa 2014.

[55] Znacząca kontrola człowieka (*meaningful human control*) – pojęcie stosowane w debacie nad autonomicznymi systemami uzbrojenia, oznaczające konieczność zachowania realnej, świadomej decyzji człowieka na kluczowych etapach użycia siły: od identyfikacji celu, poprzez wybór środków rażenia, aż po podjęcie decyzji o ataku. Ma na celu zapewnienie zgodności użycia nowych technologii (w tym dronów z elementami sztucznej inteligencji) z prawem międzynarodowym i normami etycznymi.

z priorytetem dla łańcuchów dostaw krytycznych części; po czwarte, budowę wielowarstwowych systemów antydronowych w ochronie infrastruktury oraz jasnych polityk prywatności, rejestracji i szyfrowania danych. Z perspektywy etycznej konieczna jest świadoma debata publiczna o tym, jak technologia dronowa – i towarzysząca jej automatyzacja – zmienia granice akceptowalnego ryzyka i odpowiedzialności w społeczeństwach demokratycznych.

Doświadczenia ukraińskie pokazują, że te same technologie mogą i powinny być wykorzystywane do ochrony portów lotniczych i morskich, infrastruktury energetycznej, rafinerii oraz granic państwowych, gdzie UAV pełnią rolę systemów monitorowania, wykrywania i neutralizacji zagrożeń.

W wymiarze prawnym konflikt potwierdził aktualność międzynarodowego prawa humanitarnego i konwencji genewskich, ale też ujawnił luki wynikające z nowych możliwości dronów oraz ich autonomii. Konieczne jest rozwijanie norm prawnych w kierunku technologicznej neutralności, a zarazem ich dookreślanie w sferze ochrony danych, odpowiedzialności operatorów i progu użycia siły wobec bezzałogowych platform w przestrzeni cywilnej. Równolegle należy umacniać regulacje krajowe dotyczące kompetencji służb odpowiedzialnych za przeciwdziałanie zagrożeniom dronowym w pobliżu infrastruktury krytycznej.

Wnioskiem płynącym z analizy jest to, że drony – będąc równocześnie bronią i tarczą – wymagają podejścia systemowego, które łączy technologię, prawo i praktykę operacyjną. Tylko zintegrowane podejście, w którym rozwiązania techniczne (sensory, systemy antydronowe, redundancja infrastruktury) uzupełniane są przez jasne procedury prawne i odpowiedzialność instytucjonalną, może zapewnić skuteczną i etyczną ochronę zarówno w czasie wojny, jak i w okresie pokoju. Ukraina stała się laboratorium nowoczesnej wojny dronowej, a jej doświadczenia stanowią cenny punkt odniesienia dla globalnej debaty nad przyszłością bezpieczeństwa i regulacji prawnych.

## Bibliografia

Balcerzak T., *Bezpieczeństwo pasażerów, samolotów i infrastruktury wobec aktualnych zagrożeń – rozwiązania i technologie*, Warszawa 2014.

Balcerzak T., *Konert A., Is it a bird? Is it a robot? Is it a plane? Law and ethical aspects on the rules for the operation of autonomous and semi-autonomous unmanned aircraft*, 2023.

Bogusz D., *Security theater in civil aviation*, „Scientific Journal of Safety and Logistics" 2023, t. 1, nr 1.

Boyle M.J., *The legal and ethical implications of drone warfare*, „The International Journal of Human Rights" 2015, t. 19(2).

https://edition.cnn.com.

https://eur-lex.europa.eu.

https://www.bbc.com.

https://www.cbsnews.com.

https://www.cnbc.com.

https://www.economist.com.

https://www.euronews.com.

https://www.federalregister.gov.

https://www.hoover.org.

https://www.janes.com.

https://www.osw.waw.pl.

https://www.reuters.com.

https://www.special-ops.pl.

https://zbiam.pl.

Kunertová D., *Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine*, „Contemporary Security Policy" 2023, t. 44, nr 4.

Pacholski Ł., *Bezzałogowe Bayraktary TB2 dla SZ RP*, „Wojsko i Technika" 2021, nr 6.

Pyzynski M., Balcerzak T., *Cybersecurity of the Unmanned Aircraft System (UAS)*, „Journal of Intelligent & Robotic Systems" 2021, t. 102, nr 35.

Skóra J., *Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa w państwie*, „Aviation And Security Issues" 2022, nr 1.

Statut Rzymski Międzynarodowego Trybunału Karnego sporządzony w Rzymie dnia 17 lipca 1998 r. (Dz.U. z 2003 r., nr 78, poz. 708 z późn. zm.).

Strembski M., *Bayraktar TB2*, „Lotnictwo" 2020, nr 11.

Żmigrodzka M., *Aviation in the era of the Russian-Ukrainian war*, „Scientific Journal of Safety and Logistics" 2023, t. 1, nr 1.

**dr inż. Krzysztof Ogonowski**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0000-0002-6075-4571

**mgr Mateusz Ogonowski**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0009-0001-8693-6971

# Zintegrowany system bezpieczeństwa portów lotniczych oparty na rojach dronów i satelitach wyposażonych w sztuczną inteligencję

## Integrated airport security system based on swarms of drones and satellites equipped with Artificial Intelligence

**Streszczenie**

Porty lotnicze odgrywają znaczącą rolę w funkcjonowaniu państw i regionów zarówno w wymiarze gospodarczym, jak i strategicznym. Stanowią one newralgiczne punkty sieci transportowej, zapewniając sprawny przepływ osób czy towarów, a coraz częściej także i informacji. W ostatnich latach ich znaczenie dodatkowo wzrosło w związku z intensyfikacją międzynarodowej wymiany handlowej oraz coraz większym uzależnieniem gospodarek od terminowych i precyzyjnie skoordynowanych dostaw. Artykuł przedstawia koncepcję zintegrowanego systemu ochrony przestrzeni powietrznej portów lotniczych opartego na synergii trzech elementów: satelitów obserwacyjnych, rojów bezzałogowych statków powietrznych oraz sztucznej inteligencji (AI – *Artificial Intelligence*). Opisano również mechanizmy redundancji i zabezpieczeń komunikacyjnych, zapewniające odporność na zakłócenia i ataki radioelektroniczne. Przeprowadzono w nim analizę potencjalnych scenariuszy operacyjnych, wskazując na możliwość skrócenia cyklu „wykrycie–identyfikacja–neutralizacja" do kilkudziesięciu sekund, co znacząco zwiększa skuteczność ochrony portów lotniczych przed zagrożeniami powietrznymi.

**Słowa kluczowe:** rój dronów, sztuczna inteligencja, satelita

**Abstract**

Airports play a significant role in the functioning of countries and regions, both economically and strategically. They are key points in the transport network, ensuring the smooth flow of people, goods, and, increasingly, information.

In recent years, their importance has grown further due to the intensification of international trade and the increasing dependence of economies on timely and precisely coordinated deliveries. The article presents the concept of an integrated airport airspace protection system based on the synergy of three elements: observation satellites, swarms of unmanned aerial vehicles, and Artificial Intelligence (AI). It also describes redundancy and communication security mechanisms that ensure resistance to radio-electronic interference and attacks. It analyzes potential operational scenarios, indicating the possibility of shortening the "detection-identification-neutralization" cycle to several dozen seconds, which significantly increases the effectiveness of airport protection against airborne threats.

**Keywords:** drone swarm, Artificial Intelligence, satellite

## Wprowadzenie

Porty lotnicze pełnią kluczową funkcję w strukturze funkcjonowania państw i regionów zarówno w aspekcie gospodarczym, jak i strategicznym. Stanowią one istotne węzły sieci transportowej, umożliwiając niezakłócony przepływ osób, towarów, a w coraz większym stopniu również danych. W ostatnich latach ich rola uległa dalszemu wzmocnieniu, co jest bezpośrednio związane z intensyfikacją globalnej wymiany handlowej oraz rosnącym uzależnieniem współczesnych gospodarek od dostaw realizowanych w sposób terminowy i precyzyjnie koordynowany[1].

Zgodnie z definicją przyjętą przez Unię Europejską, infrastrukturą krytyczną określa się te elementy systemowe, których zakłócenie lub zniszczenie mogłoby wywołać poważne skutki dla zdrowia, bezpieczeństwa lub dobrobytu obywateli, a także dla ciągłości działania organów państwowych oraz gospodarki narodowej[2]. Porty lotnicze wpisują się w tę definicję w sposób bezdyskusyjny. Ich nagłe unieruchomienie może rozpocząć kaskadę zakłóceń, która wykracza daleko poza teren samego lotniska. Zatrzymanie operacji lotniczych w jednym porcie może w ciągu kilku godzin sparaliżować regionalne łańcuchy dostaw, opóźnić działania ratownicze zależne od transportu lotniczego, zablokować przesyłki sprzętu medycznego lub materiałów strategicznych, a w konsekwencji – doprowadzić do zakłóceń w funkcjonowaniu innych elementów infrastruktury krytycznej, takich jak szpitale, centra logistyczne czy jednostki reagowania kryzysowego.

[1] D. Bogusz, J. Skóra, *Edukacja lotnicza i lotniskowa w szkołach średnich w Polsce*, LAW, Dęblin 2025, s. 27.

[2] European Commission, European Programme for Critical Infrastructure Protection (EPCIP), 2006.

W kontekście rosnącej liczby operacji lotniczych oraz postępującej integracji portów z systemami cyfrowymi kwestie związane z bezpieczeństwem ich funkcjonowania nabierają coraz większego znaczenia. Tradycyjne podejścia do ochrony, oparte głównie na kontroli fizycznej oraz punktowych systemach nadzoru i wykrywania, okazują się coraz mniej skuteczne wobec zagrożeń, które cechuje nieregularność, decentralizacja i trudna wykrywalność[3]. W szczególności dotyczy to incydentów z udziałem bezzałogowych statków powietrznych (UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*), które w ostatnich latach stały się jednym z najpoważniejszych wyzwań dla operatorów portów lotniczych. Urządzenia tego typu, powszechnie dostępne na rynku cywilnym, mogą być wykorzystywane zarówno w sposób przypadkowy, jak i celowy, prowadząc do zakłóceń o charakterze asymetrycznym.

W odróżnieniu od tradycyjnych zagrożeń UAV nie wymagają rozbudowanej infrastruktury ani zaawansowanego zaplecza technologicznego. Ich obsługa może odbywać się z dowolnego miejsca w obrębie zurbanizowanego otoczenia lotniska, a sam obiekt – niewielki, nieregularnie poruszający się i często wykonany z materiałów trudnych do wykrycia – wymyka się zasięgowi klasycznych systemów ochrony. Zagrożenia asymetryczne charakteryzują się tym, że ich źródłem są działania prowadzone poza konwencjonalnym układem bezpieczeństwa państwowego – przez osoby indywidualne, grupy niepaństwowe lub podmioty operujące anonimowo, często z wykorzystaniem legalnie zakupionego sprzętu. Efektem jest sytuacja, w której pozornie niegroźny cywilny dron może skutecznie naruszyć strefę bezpieczeństwa operacyjnego portu lotniczego, zakłócając ruch lotniczy lub całkowicie go wstrzymując, a najbardziej jaskrawym przykładem tego typu incydentu pozostaje zdarzenie z 2018 r. na lotnisku Gatwick w Wielkiej Brytanii, gdzie przez ponad 30 godz. wielokrotnie wykrywano niezidentyfikowane UAV w strefie podejścia. Wstrzymano kilkaset lotów, tysiące pasażerów utknęło na lotnisku, a operatorzy nie byli w stanie zlokalizować ani zneutralizować źródła zagrożenia[4].

Podobne przypadki odnotowano w Tel Awiwie w 2022 r. oraz w Dubaju w 2023 r. W obu lokalizacjach obecność UAV nad pasami startowymi doprowadziła do przerwania operacji lotniczych na kilkadziesiąt minut,

[3] J. Skóra, *Wybrane aspekty bezpieczeństwa portów lotniczych*, [w:] *Współczesne porty lotnicze*, red. D. Bogusz, LAW, Dęblin 2022, s. 172.

[4] BBC News, *Gatwick Airport: Drone sightings cause delays*, https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46623754 [dostęp: 8.08.2025].

generując straty finansowe i operacyjne[5]. Dotychczas stosowane systemy ochrony, opracowane z myślą o zagrożeniach tradycyjnych, opierają się głównie na radarach obserwacji pierwotnej i wtórnej, punktowych czujnikach akustycznych, kamerach optycznych oraz manualnych procedurach reagowania. Rozwiązania te, choć skuteczne w przypadku dużych obiektów lecących według planu lotu, zawodzą w konfrontacji z urządzeniami o niewielkich rozmiarach, nieregularnym torze lotu, ograniczonym profilu radarowym i zdolności do działania na niskim pułapie w gęsto zabudowanym terenie. Bezzałogowe statki powietrzne charakteryzujące się wysokim poziomem autonomii i możliwością działania w trybie bezpozycjonowania GPS potrafią całkowicie wymknąć się wykryciu, szczególnie gdy operują w złożonym środowisku urbanistycznym w pobliżu portu lotniczego. Ich wykrycie, identyfikacja oraz neutralizacja w warunkach rzeczywistych stanowi obecnie jedno z najtrudniejszych wyzwań operacyjnych dla infrastruktury lotniczej. Problem pogłębia fakt, że większość portów zlokalizowana jest na obrzeżach dużych miast, gdzie ograniczenia przestrzenne i prawne dodatkowo utrudniają stosowanie aktywnych środków przeciwdziałania.

Wobec tej zmieniającej się dynamiki zagrożeń konieczne staje się przyjęcie nowej architektury bezpieczeństwa, która wykracza poza tradycyjnie rozumiane systemy ochrony fizycznej. W niniejszym artykule autorzy chcą przedstawić koncepcję nowej generacji systemu zabezpieczeń, integrującego dwa zaawansowane komponenty technologiczne: autonomiczne roje bezzałogowych statków powietrznych oraz satelity obserwacyjne wspierane algorytmami sztucznej inteligencji. Model ten zakłada przejście od statycznej obrony do aktywnego, rozproszonego systemu reagowania, zdolnego nie tylko do identyfikacji anomalii w czasie rzeczywistym, lecz także do prowadzenia działań przeciwdziałających jeszcze przed eskalacją zagrożenia. W centrum tej koncepcji znajduje się synergia między komponentem naziemnym a orbitalnym: mobilne jednostki UAV, operujące wokół portu lotniczego, mogą pełnić funkcję zautomatyzowanych patroli powietrznych, natomiast satelity orbitalne, dzięki zdolnościom obserwacyjnym w skali makro, dostarczają danych strategicznych wspierających wczesne ostrzeganie i koordynację operacyjną. Główną rolę odgrywa tu sztuczna inteligencja, która umożliwia dynamiczne zarządzanie danymi i podejmowanie decyzji opartych na analizie kontekstowej, bez konieczności angażowania człowieka w każdą fazę reakcji.

[5] Haaretz, *Plane Has Near-miss With Drone at Ben Gurion Airport*, https://www.haaretz.com/2015-08-12/ty-article/plane-drone-near-miss-at-ben-gurion-airport/0000017f-f02b-d497-a1ff-f2ab119a0000 [dostęp: 8.08.2025]; Gulf News, *Flights disrupted at Dubai International Airport*, https://gulfnews.com/uae/flights-disrupted-at-dubai-international-airport-1.66597429 [dostęp: 8.08.2025].

## Komponenty zintegrowanego systemu ochrony przestrzeni powietrznej portów lotniczych

Projektowanie skutecznego systemu ochrony wymaga zrozumienia, że bezpieczeństwo portu lotniczego nie może opierać się na pojedynczym narzędziu czy technologii, lecz na synergii wielu uzupełniających się komponentów. W proponowanym modelu kluczową rolę odgrywają trzy z nich:

- rojowe systemy bezzałogowych statków powietrznych;
- satelity obserwacyjne;
- zaawansowane algorytmy sztucznej inteligencji integrujące dane z różnych źródeł.

Każdy z nich pełni odmienną funkcję – od taktycznego monitorowania i szybkiego reagowania w bezpośrednim otoczeniu lotniska, przez szeroko zasięgową obserwację orbitalną, aż po automatyczną analizę sytuacyjną i predykcję zagrożeń. Tylko ich wspólne działanie umożliwi przejście od reaktywnego modelu ochrony do aktywnej neutralizacji incydentów.

Rojowe systemy bezzałogowych statków powietrznych (*UAV Swarms*) stanowią jedną z najbardziej zaawansowanych form wykorzystania robotyki w operacjach powietrznych. W odróżnieniu od klasycznych formacji UAV roje cechują się zdolnością do kolektywnego działania opartego na wymianie danych w czasie rzeczywistym, z zachowaniem elastyczności reakcji na zmienne warunki środowiskowe[6]. W praktyce oznacza to, że każdy dron w roju pełni jednocześnie rolę sensora, przekaźnika danych i jednostki wykonawczej, co umożliwia realizację złożonych zadań bez konieczności ciągłego nadzoru operatora.

W literaturze wyróżnia się trzy dominujące modele współpracy rojów UAV:

- model scentralizowany – jeden element pełni rolę nadrzędnego koordynatora, przekazując instrukcje wszystkim pozostałym jednostkom. Rozwiązanie to jest stosunkowo proste w implementacji, lecz podatne na awarię jednostki dowodzącej;
- model zdecentralizowany – każdy UAV posiada zdolność podejmowania decyzji w oparciu o lokalne dane, przy jednoczesnej wymianie informacji z innymi jednostkami. Ten model zwiększa odporność systemu na uszkodzenia pojedynczych elementów;
- model rozproszony (pełna autonomia) – brak nadrzędnej jednostki dowodzenia; decyzje podejmowane są na podstawie algorytmów kolektywnej inteligencji (np. bioinspirowane modele roju pszczół lub ławic ryb).

[6] S.J. Chung i in., *A survey on aerial swarm robotics*, „IEEE Transactions on Robotics" 2018, nr 34(4), s. 837–855.

Zastosowanie rojów UAV w ochronie portów lotniczych stwarza możliwość realizacji szeregu złożonych scenariuszy operacyjnych, które dotychczas były trudne lub niemożliwe do osiągnięcia przy użyciu tradycyjnych systemów bezpieczeństwa. Jednym z bardziej istotnych zastosowań jest patrol perymetryczny, polegający na ciągłym monitorowaniu granic strefy lotniska w sposób rozproszony i elastyczny, z możliwością natychmiastowego przejścia w tryb pościgu po wykryciu naruszenia przestrzeni powietrznej[7]. Wykorzystując łączność sieciową oraz zdolność do samodzielnego planowania tras, roje UAV są w stanie zapewniać ciągłą obecność w sektorach przestrzeni powietrznej, skutecznie eliminując potencjalne przerwy w jej monitorowaniu.

Drugim istotnym scenariuszem jest śledzenie i przechwytywanie intruza. W tym przypadku rolę odgrywają zaawansowane sensory, takie jak kamery elektrooptyczne wysokiej rozdzielczości, systemy termowizyjne oraz LiDAR (*Light Detection and Ranging* – technologia wykrywania i określania odległości za pomocą światła laserowego). Zastosowanie tych narzędzi umożliwia precyzyjną identyfikację obiektu, określenie jego trajektorii oraz utrzymywanie kontaktu wizualnego nawet w warunkach ograniczonej widoczności[8]. Zintegrowane algorytmy przetwarzania obrazu pozwalają dodatkowo na automatyczną klasyfikację obiektów i odróżnienie zagrożeń od neutralnych użytkowników przestrzeni powietrznej.

W sytuacjach wymagających natychmiastowej interwencji możliwe jest także dynamiczne blokowanie przestrzeni powietrznej poprzez tworzenie tymczasowych stref zakazu lotów (*no-fly zones*). W tym celu stosuje się drony wyposażone w systemy zakłócające łączność radiową (RF *jamming* – *Radio Frequency jamming*) oraz systemy fałszowania sygnałów nawigacyjnych GPS (GPS *spoofing* – *Global Positioning System spoofing*), co pozwala na dezorientację i neutralizację nieautoryzowanych UAV, zanim dotrą w pobliże stref krytycznych[9]. Działania te mogą być dodatkowo wspierane przez systemy neutralizacji kinetycznej lub niekinetycznej. Do metod:

- kinetycznych zaliczają się rozwiązania mechaniczne, takie jak systemy przechwytywania z wykorzystaniem sieci (*net capture systems*), umożliwiające bezpieczne sprowadzenie intruza na ziemię bez ryzyka uszkodzenia infrastruktury;

---

[7] Tamże.

[8] U. Seidaliyeva i in., *LiDAR Technology for UAV Detection: From Fundamentals and Operational Principles to Advanced Detection and Classification Techniques*, „Sensors" 2025, t. 25(9), s. 2757.

[9] J. Kwon, H. Kim, J. Park, *Counter-drone technology for airport protection: RF jamming and GPS spoofing countermeasures*, „Journal of Unmanned Systems Technology" 2020, t. 8(2), s. 45–57.

- niekinetycznych należy kierunkowe oddziaływanie elektromagnetyczne, w tym impulsowe źródła mikrofal o wysokiej mocy (HPM – *High-Power Microwave*), które mogą zakłócić działanie elektroniki drona z odległości kilkudziesięciu metrów[10].

Takie wielowarstwowe podejście, integrujące autonomię rojów UAV z różnorodnymi technikami wykrywania i neutralizacji, stanowi fundament nowej generacji systemów ochrony przestrzeni powietrznej portów lotniczych, zapewniając elastyczność działania, skalowalność oraz możliwość reagowania w czasie rzeczywistym. Skuteczność tego modelu nie jest jednak determinowana wyłącznie przez parametry samych platform UAV. Równie istotne pozostaje to, w jaki sposób system pozyskuje, przetwarza i interpretuje dane o potencjalnych zagrożeniach. Wymaga to zarówno precyzyjnych metod detekcji, zdolnych do identyfikacji niewielkich i niskoemisyjnych obiektów, jak i efektywnej integracji informacji pochodzących z wielu źródeł.

## Wymagania operacyjne i technologiczne dla systemu UAV–satelity

Aby zintegrowany system ochrony przestrzeni powietrznej portów lotniczych mógł działać skutecznie, konieczne jest spełnienie określonych wymagań operacyjnych oraz technologicznych, obejmujących zarówno komponenty UAV, jak i elementy orbitalne. W warstwie satelitarnej ogromne znaczenie ma zdolność do prowadzenia obserwacji w trybie ciągłym lub quasi-ciągłym, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej rozdzielczości przestrzennej (poniżej 1 m/piksel) oraz krótkiego czasu rewizytacji, pozwalającego na aktualizację obrazu obszaru krytycznego co kilka godzin lub nawet minut w przypadku konstelacji satelitarnych[11]. Nowoczesne satelity obserwacyjne, takie jak jednostki programu *Sentinel-1* i *Sentinel-2* w ramach europejskiego systemu Copernicus, wyposażone są w dwa podstawowe typy sensorów:

- systemy elektrooptyczne (EO – *Electro-Optical*) – wykorzystują detektory światła widzialnego i podczerwieni, co pozwala na rejestrację obrazów o wysokiej jakości w warunkach dziennych i przy sprzyjającej pogodzie[12];

[10] Y. Ma, L. Zhang, X. Liu, *High-power microwave applications for counter-drone operations in airport security*, „International Journal of Microwave Science and Technology" 2019, t. 14(3), s. 112–121.

[11] European Space Agency (ESA), *Sentinel-1 – Radar vision for Copernicus*, https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1 [dostęp: 8.08. 2025].

[12] NASA Earthdata, *Sentinel-1 – Space-Based Platform Overview*, https://www.earthdata.nasa.gov/data/platforms/space-based-platforms/sentinel-1 [dostęp: 8.07.2025].

- radary z syntetyczną aperturą (SAR – *Synthetic Aperture Radar*) – działając w zakresie mikrofal, umożliwia obrazowanie niezależnie od pory dnia i warunków atmosferycznych, co jest szczególnie istotne w kontekście operacji lotniczych, gdzie widoczność często bywa ograniczona[13].

Zdolność SAR do tworzenia obrazów o dużej rozdzielczości wynika z wykorzystania ruchu satelity do syntetycznego „wydłużania" anteny radarowej, co pozwala uzyskać precyzyjne dane o strukturach i obiektach na powierzchni Ziemi. W praktyce oznacza to możliwość wykrywania nawet niewielkich obiektów, takich jak drony czy pojazdy naziemne, a także śledzenia zmian w ich położeniu w krótkich odstępach czasu. Dodatkowym atutem nowoczesnych satelitów jest możliwość pracy w różnych trybach – od szerokiego pokrycia (*wide swath*) obejmującego setki kilometrów kwadratowych, po tryb szczegółowy (*spotlight mode*), w którym uzyskuje się obrazy o najwyższej dostępnej rozdzielczości. Integracja tych możliwości z naziemnym komponentem UAV pozwala nie tylko na wczesne wykrywanie potencjalnych zagrożeń, ale również na dynamiczne dostarczanie danych rozpoznawczych do jednostek wykonawczych. W warstwie UAV kluczowe jest zapewnienie autonomii operacyjnej umożliwiającej dynamiczne reagowanie na dane pochodzące z komponentu orbitalnego. Wymaga to stworzenia stabilnej, szyfrowanej sieci wymiany informacji o niskim opóźnieniu, zdolnej do obsługi dużych wolumenów danych w czasie rzeczywistym. Tego rodzaju architektura komunikacyjna musi być odporna na zakłócenia elektromagnetyczne, próby przechwycenia transmisji oraz cyberataki. Pełna efektywność takiego układu jest jednak uzależniona od zaawansowanego przetwarzania informacji, co prowadzi do konieczności wdrożenia rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji. To właśnie one, integrując dane z satelitów i rojów UAV, umożliwiają tworzenie spójnego obrazu sytuacyjnego i automatyczne generowanie rekomendacji działań.

## Wykorzystanie sztucznej inteligencji w zintegrowanych systemach UAV–satelity

Sztuczna inteligencja (AI – *Artificial Intelligence*) stanowi zasadniczy element spajający warstwę satelitarną i rojowe systemy UAV. Jej zadaniem jest utworzenie i podtrzymywanie wspólnego obrazu sytuacyjnego (*Common Operational Picture*), zdolnego do aktualizacji w czasie rzeczywistym i bezpośredniego wspierania decyzji operacyjnych. Fundamentem jest tu głębokie uczenie (*Deep Learning*), które dostarcza metod przetwarzania sygnałów i obrazów na dużą skalę oraz mechanizmów generalizacji do nowych sytuacji[14].

[13] H. Zhang i in., *SAR Image Change Detection Based on Multi-Scale Spatial Convolution and Residual Refinement*, „Remote Sensing" 2020, t. 12(5), s. 765.

[14] X.X. Zhu i in., *Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources*, „IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine" 2017, t. 5(4), s. 8–36.

Techniki te pozwalają nie tylko na automatyczną ekstrakcję cech z danych surowych, ale również na adaptacyjne dostosowanie modeli do specyfiki obszaru obserwacji, rodzaju czujnika oraz charakteru wykrywanych zagrożeń. Dzięki temu system jest w stanie rozpoznawać wzorce aktywności, które wcześniej nie były zdefiniowane w bazach danych, co ma niebagatelne znaczenie w przeciwdziałaniu atakom asymetrycznym, charakteryzującym się dużą zmiennością i nieprzewidywalnością. W warunkach ochrony przestrzeni powietrznej portów lotniczych oznacza to możliwość wykrywania i klasyfikacji obiektów o małych rozmiarach, takich jak komercyjne drony, nawet w środowiskach o wysokim poziomie zakłóceń tła, zarówno w obrazach elektrooptycznych, jak i radarowych. AI umożliwia przy tym analizę danych w sposób sekwencyjny, co pozwala na identyfikację bieżącego położenia obiektu, ale również na przewidywanie jego trajektorii czy nawet ocenę intencji. To z kolei przekłada się na skrócenie czasu reakcji systemu i zwiększenie skuteczności neutralizacji zagrożeń jeszcze zanim osiągną one strefy krytyczne w pobliżu infrastruktury lotniskowej.

W praktyce, poza samą integracją sygnałów, istotne jest także modelowanie zależności czasowo-przestrzennych, co umożliwia przewidywanie ruchu obiektów i wykrywanie anomalii w ich trajektorii na podstawie analizy sekwencji obserwacji. Wykorzystanie architektur rekurencyjnych oraz sieci konwolucyjnych 3D pozwala na jednoczesne uchwycenie zmian przestrzennych i dynamiki ruchu, co zwiększa skuteczność rozpoznania w warunkach zakłóceń lub częściowej utraty danych. Równolegle rozwijane są metody przetwarzania brzegowego (*edge computing*), które pozwalają na wstępną obróbkę i filtrowanie danych już na pokładzie UAV, ograniczając opóźnienia w transmisji i zmniejszając zapotrzebowanie na przepustowość łączy satelitarnych. Tego rodzaju optymalizacja strumienia informacji zwiększa szanse na utrzymanie ciągłości obrazu sytuacyjnego nawet w przypadku przeciążenia sieci lub częściowej utraty łączności. Uzupełnieniem tego procesu jest priorytetyzacja zagrożeń oraz automatyzacja decyzji, pozwalająca na znaczną redukcję obciążenia operatora. W rozwiązaniach komercyjnych klasy C-UAS (*Counter-Unmanned Aircraft Systems*) integruje się dane z wielu typów sensorów, w tym sygnały radiowe (RF), obrazy radarowe i elektrooptyczne oraz sygnały akustyczne, aby automatycznie klasyfikować wykryte obiekty, oceniać ich stopień zagrożenia i tworzyć uporządkowaną listę celów do neutralizacji. Przykładem takiego podejścia jest system DedroneTracker.AI, który dzięki zastosowaniu algorytmów sztucznej inteligencji nie tylko wskazuje najbardziej prawdopodobne cele wymagające interwencji, ale także umożliwia lokalizację zarówno drona, jak i stanowiska operatora[15].

[15] Dedrone, *DedroneTracker.AI – Smart Airspace Security and Drone Detection Software*, https://www.dedrone.com/products/drone-detection-software [dostęp: 8.08. 2025].

## Integracja komponentów systemu ochrony przestrzeni powietrznej portów lotniczych

Dotychczasowa analiza wykazała, że każda z trzech omawianych warstw: satelitarna, rojowa oraz oparta na sztucznej inteligencji posiada unikalne możliwości w zakresie detekcji, śledzenia i neutralizacji zagrożeń. Ich pełny potencjał ujawnia się jednak dopiero w momencie ich integracji w jeden spójny system operacyjny. Takie połączenie pozwala na wykorzystanie przewagi, jaką daje obserwacja dużych obszarów z orbity, szybkość i precyzję reagowania rojów UAV oraz zdolność AI do natychmiastowej analizy i priorytetyzacji informacji. W rezultacie możliwe staje się stworzenie dynamicznego, skalowalnego i odpornego na zakłócenia środowiska ochronnego, które zapewnia ciągłość nadzoru i skuteczność działań w czasie rzeczywistym.

## Koncepcja zintegrowanego systemu ochrony przestrzeni powietrznej portów lotniczych

Zintegrowanie satelitów obserwacyjnych, rojów UAV oraz sztucznej inteligencji tworzy nową jakość w ochronie przestrzeni powietrznej portów lotniczych. W dotychczasowych rozwiązaniach każdy z tych elementów działał w dużej mierze niezależnie, co powodowało opóźnienia w reakcji i utratę spójnego obrazu sytuacyjnego. Połączenie ich w jeden system pozwala na zbudowanie ciągłego łańcucha detekcji i neutralizacji, w którym informacja przepływa nieprzerwanie od poziomu strategicznego do taktycznego. W takim układzie satelity umożliwiają stałe monitorowanie szerokiego obszaru, w tym korytarzy podejścia i odlotu samolotów, zapewniając wczesne wykrycie obiektów mogących stanowić zagrożenie. Zastosowanie wielospektralnych sensorów (optycznych, podczerwonych, radarowych) pozwala na obserwację w różnych warunkach pogodowych i porach doby, minimalizując ryzyko utraty ciągłości monitoringu. W tym systemie koncepcyjnym dane z satelitów trafiają do centrum analitycznego niemal w czasie rzeczywistym dzięki łączom laserowym lub radiowym dużej przepustowości, co znacząco skraca czas pomiędzy detekcją a reakcją. Takie dane przekazane w czasie zbliżonym do rzeczywistego pozwalają skierować roje UAV w rejon zainteresowania. Drony te, działając w koordynacji i wymieniając się informacjami w ramach zdecentralizowanej sieci komunikacyjnej, mogą prowadzić obserwację w wysokiej rozdzielczości, śledzić ruch obiektów oraz, w razie potrzeby, podejmować działania neutralizacyjne. W koncepcji zakłada się, że roje będą zdolne do samodzielnego rozdzielania zadań, np. część jednostek będzie kontynuować śledzenie celu, podczas gdy inne będą utrzymywać blokadę przestrzeni lub prowadzić działania zakłócające.

Cały proces jest kontrolowany i optymalizowany przez sztuczną inteligencję, której rola nie ogranicza się jedynie do analizy obrazu czy sygnałów. AI odpowiada za fuzję danych z wielu źródeł, ocenę priorytetów i przewidywanie rozwoju sytuacji. Dzięki temu operator otrzymuje nie tylko surowe informacje, ale gotowe rekomendacje lub, w określonych scenariuszach, system samodzielnie uruchamia procedury przeciwdziałania. Takie rozwiązanie pozwala skrócić czas reakcji z minut do sekund, co w kontekście zagrożeń w rejonie lotniska ma ogromne znaczenie dla bezpieczeństwa.

Obecnie tego typu integracja pozostaje w fazie projektowej i testowej, realizowanej głównie w ramach programów badawczo-rozwojowych. W pełnej, operacyjnej formie system mógłby działać jako autonomiczny „łańcuch ochronny" od poziomu satelitarnego zwiadu po neutralizację zagrożenia w pobliżu infrastruktury krytycznej. Przejście od wizji do praktycznej realizacji wymaga jednak opracowania spójnej architektury technicznej oraz zapewnienia pełnej kompatybilności między różnorodnymi platformami i sensorami.

## Architektura i przepływ informacji w zintegrowanym systemie ochrony przestrzeni powietrznej

Architektura zintegrowanego systemu ochrony opiera się na modułowym modelu komunikacji, w którym dane operacyjne krążą w zamkniętej pętli między wszystkimi elementami. Każdy komponent ma przypisaną ściśle określoną funkcję i zestaw kanałów wymiany informacji, co zapewnia równoległe przetwarzanie wielu strumieni danych oraz wysoką odporność na przerwy w transmisji. System jest podzielony na trzy poziomy:

- na poziomie strategicznym funkcjonują centralne węzły analityczne, w których koncentrują się wszystkie dane wejściowe;
- poziom operacyjny obejmuje regionalne centra kontroli, odpowiedzialne za filtrowanie i agregację danych oraz przekazywanie ich w formie skróconych raportów lub alertów;
- najniższy poziom, taktyczny, to jednostki wykonawcze w terenie, które korzystają z danych przesyłanych w czasie rzeczywistym do prowadzenia działań w rejonie incydentu[16].

Istotnym elementem architektury jest mechanizm redundancji i automatycznego przełączania węzłów, dzięki któremu w przypadku utraty połączenia z jednym z modułów pozostałe elementy systemu przejmują jego funkcje w ciągu kilku sekund. Dotyczy to zarówno stacji odbiorczych danych, jak i jednostek dowodzenia, co w praktyce oznacza,

[16] NATO STO, *Airspace Security Command and Control Architectures*, https://www.sto.nato.int [dostęp: 8.08.2025].

że nawet w sytuacji zakłóceń elektromagnetycznych lub uszkodzenia łącza satelitarnego system zachowuje zdolność do wykrywania i śledzenia obiektów. Uzupełnieniem tej warstwy jest kanał szyfrowanej komunikacji między elementami systemu, wykorzystujący protokoły odporne na ataki typu *man-in-the-middle*, czyli przejęcie i ewentualną modyfikację danych przez podmiot znajdujący się pomiędzy nadawcą a odbiorcą bez ich wiedzy. W tym celu stosuje się m.in. techniki dynamicznego zmieniania częstotliwości, co znacząco utrudnia przechwycenie lub zakłócenie transmisji. Taka infrastruktura zapewnia integralność i poufność danych nawet w środowisku intensywnej walki radioelektronicznej[17].

## Scenariusze operacyjne zastosowania systemu

W warunkach rzeczywistych, zintegrowany system satelitów obserwacyjnych, rojów UAV i sztucznej inteligencji może działać w trybie stałego monitorowania i reakcji dynamicznej. Przykładowo, w sytuacji zakłócenia pracy lotniska przez nieautoryzowanego drona pierwszym elementem aktywującym łańcuch detekcji są satelity obserwacyjne w trybie wysokiej rozdzielczości, które wykrywają nietypowy obiekt w korytarzu podejścia. W oparciu o analizę zmian pikselowych i sygnatury cieplnej system klasyfikuje obiekt jako potencjalne zagrożenie i przesyła dane do stacji naziemnej. Na tej podstawie rój UAV zostaje automatycznie skierowany w rejon zagrożenia, gdzie wykorzystuje kamery wizyjne, czujniki RF i LiDAR do identyfikacji celu. Sztuczna inteligencja fuzjonuje te dane w czasie zbliżonym do rzeczywistego, ocenia kierunek lotu drona, jego prędkość oraz możliwe punkty startu. W scenariuszu testowym zrealizowanym przez Defence Science and Technology Laboratory[18] wykazano, że wprowadzenie algorytmów predykcji trajektorii pozwoliło skrócić czas przechwycenia celu o ponad 40% w porównaniu z klasycznymi procedurami. W przypadku potwierdzenia zagrożenia system priorytetyzuje zadania, część dronów przechwytuje obiekt, stosując sieci lub broń mikrofalową, podczas gdy inne prowadzą obserwację strefy podejścia w celu wykrycia ewentualnych współdziałających jednostek. Informacja o incydencie jest równolegle przekazywana do służb portu lotniczego oraz do systemów zarządzania ruchem lotniczym, co umożliwia podjęcie decyzji o ewentualnym opóźnieniu lądowania lub zmianie trasy samolotu pasażerskiego.

Z punktu widzenia operacyjnego największą wartością jest tu skrócenie cyklu „wykrycie–identyfikacja–neutralizacja" z kilku minut do

[17] US DoD, *Secure Tactical Data Links in Contested Environments*, https://www.dod.gov/securelinks [dostęp: 8.08.2025].

[18] DSTL, *Counter-UAS Swarm Operations Trials*, https://www.gov.uk/dstl [dostęp: 8.09.2025].

kilkudziesięciu sekund, co znacząco redukuje ryzyko wystąpienia incydentu o poważnych konsekwencjach. Tak duża oszczędność czasu przekłada się na możliwość skutecznego reagowania również w przypadku zagrożeń o charakterze nagłym, takich jak szybkie wtargnięcie drona w strefę krytyczną czy pojawienie się niezidentyfikowanego obiektu na kursie kolizyjnym. Oznacza to, że operatorzy systemu nie tylko mają szansę wykonać procedury obronne przed faktycznym naruszeniem bezpieczeństwa, ale mogą również prowadzić działania prewencyjne w oparciu o prognozy generowane przez sztuczną inteligencję.

W praktyce tworzy to jakościową zmianę w sposobie ochrony przestrzeni powietrznej wokół portów lotniczych z reakcji następczej na działanie proaktywne, w którym decyzje podejmowane są na podstawie przewidywań, a nie jedynie zdarzeń już zaistniałych. Takie podejście, choć obecnie w dużej mierze w fazie koncepcyjnej, wyznacza kierunek rozwoju zintegrowanych systemów bezpieczeństwa, które w przyszłości mogą stać się standardem w ochronie infrastruktury krytycznej.

## Wnioski końcowe

Przeprowadzona analiza wskazuje, że integracja satelitów obserwacyjnych, rojów UAV oraz AI może stworzyć nową jakość w zakresie bezpieczeństwa portów lotniczych. Proponowana architektura zapewnia ciągły i wielowarstwowy monitoring przestrzeni powietrznej, zdolny do wykrywania, śledzenia i neutralizacji zagrożeń w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Najważniejszą rolę odgrywa tu sztuczna inteligencja, odpowiadająca nie tylko za analizę danych, lecz również za ich fuzję, priorytetyzację zagrożeń i przewidywanie rozwoju sytuacji. Dzięki temu możliwe jest skrócenie czasu reakcji z minut do sekund, co w środowisku operacyjnym lotnisk ma znaczenie krytyczne dla bezpieczeństwa pasażerów i infrastruktury. Należy podkreślić, że opisywana koncepcja znajduje się na etapie wstępnych studiów i projektów pilotażowych, a nie powszechnego wdrożenia operacyjnego. Istnieją pojedyncze elementy systemu dostępne w rozwiązaniach komercyjnych lub wojskowych, jednak ich pełne połączenie w jeden, spójny ekosystem wymaga dalszych prac badawczo-rozwojowych. Wyzwania obejmują zarówno kwestie techniczne, odporność na zakłócenia elektromagnetyczne, cyberataki, jak i regulacyjne, związane z prawem lotniczym oraz procedurami bezpieczeństwa w rejonach cywilnych portów lotniczych.

Kolejnym obszarem wymagającym pogłębionej analizy jest interoperacyjność systemów pochodzących od różnych producentów i operatorów. Brak jednolitych standardów wymiany danych w czasie rzeczywistym pomiędzy satelitami, dronami a naziemnymi centrami operacyjnymi może ograniczyć skuteczność proponowanego rozwiązania. Równie istotne jest

zapewnienie wysokiej niezawodności algorytmów sztucznej inteligencji w kontekście detekcji obiektów małych, szybko poruszających się i działających w warunkach maskowania. Z perspektywy dalszych badań konieczne jest przeprowadzenie symulacji i testów terenowych w warunkach zbliżonych do realnych operacji lotniskowych[19]. Szczególną uwagę należy poświęcić scenariuszom zakłóceń komunikacji, przeciwdziałania radioelektronicznego oraz skoordynowanych ataków wielowektorowych. Ważnym kierunkiem rozwoju jest także integracja z krajowymi i międzynarodowymi systemami zarządzania ruchem lotniczym (ATM/UTM), co umożliwi bieżące uzgadnianie działań obronnych z cywilnym ruchem lotniczym.

Podsumowując, koncepcja zintegrowanego systemu ochrony portów lotniczych oparta na satelitach, rojach dronów i sztucznej inteligencji ma potencjał, by znacząco podnieść poziom bezpieczeństwa w obliczu rosnących zagrożeń. Jej skuteczność zależeć będzie jednak od zdolności do przezwyciężenia barier technologicznych, prawnych i organizacyjnych, a także od woli współpracy pomiędzy podmiotami cywilnymi i wojskowymi. W tym kontekście niniejsze opracowanie stanowi punkt wyjścia do dalszych prac, które mogą przełożyć się na wdrożenie w pełni operacyjnych rozwiązań w perspektywie najbliższej dekady.

## Bibliografia

Bogusz D., Skóra J., *Edukacja lotnicza i lotniskowa w szkołach średnich w Polsce*, LAW, Dęblin 2025.

Chung S.J. i in., *A survey on aerial swarm robotics*, „IEEE Transactions on Robotics" 2018, nr 34(4).

European Commission, European Programme for Critical Infrastructure Protection (EPCIP), 2006.

https://gulfnews.com.

https://www.bbc.com.

https://www.dedrone.com.

https://www.dod.gov.

https://www.earthdata.nasa.gov.

https://www.esa.int.

https://www.gov.uk.

https://www.haaretz.com.

https://www.sto.nato.int.

Kwon J., Kim H., Park J., *Counter-drone technology for airport protection: RF jamming and GPS spoofing countermeasures*, „Journal of Unmanned Systems Technology" 2020, t. 8(2), s. 45–57.

[19] Zob. także: J. Skóra, *Selected aspects of women's employment in the aviation sector*, „Scientific Journal of Safety and Logistics" 2025, t. 1, nr 1, s. 5–6.

Ma Y., Zhang L., Liu X., *High-power microwave applications for counter--drone operations in airport security*, „International Journal of Microwave Science and Technology" 2019, t. 14(3).

Seidaliyeva U. i in., *LiDAR Technology for UAV Detection: From Fundamentals and Operational Principles to Advanced Detection and Classification Techniques*, „Sensors" 2025, t. 25(9).

Skóra J., *Selected aspects of women's employment in the aviation sector*, „Scientific Journal of Safety and Logistics" 2025, t. 1, nr 1.

Skóra J., *Wybrane aspekty bezpieczeństwa portów lotniczych*, [w:] *Współczesne porty lotnicze*, red. D. Bogusz, LAW, Dęblin 2022.

Zhang H. i in., *SAR Image Change Detection Based on Multi-Scale Spatial Convolution and Residual Refinement*, „Remote Sensing" 2020, t. 12(5).

Zhu X.X. i in., *Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources*, „IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine" 2017, t. 5(4).

**dr Małgorzata Żmigrodzka**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0000-0003-3896-0819

**dr inż. Katarzyna Kostur-Balcerzak**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0000-0002-2552-6709

# Roje bezzałogowych statków powietrznych w przyszłych działaniach wojennych

## UAV swarms in future warfare

**Streszczenie**

Celem artykułu jest analiza koncepcji roju systemów bezzałogowych (*UAV swar ms*) w kontekście przyszłych konfliktów zbrojnych. W pracy przedstawiono genezę, rozwój i uwarunkowania technologiczne tej koncepcji, a także studia przypadków obejmujące Stany Zjednoczone, Chiny i Ukrainę. Zastosowano metodę analizy jakościowej, opartą na triangulacji źródeł – przegląd literatury naukowej, dokumentów strategicznych (DARPA, CNA, MON), raportów think tanków oraz opracowań krajowych, w tym publikacji Lotniczej Akademii Wojskowej. Zastosowano metodę porównawczą i analizę treści, umożliwiające identyfikację różnic w poziomie autonomii i integracji rojów UAV. Wyniki wskazują, że rozwój technologii rojów prowadzi do zmiany paradygmatu prowadzenia działań wojennych – od scentralizowanych systemów uzbrojenia ku zdecentralizowanym, sieciowym rozwiązaniom bojowym. Autorki artykułu wskazują również na kluczowe wyzwania etyczne i prawne związane z automatyzacją decyzji bojowych oraz rekomendują rozwój narodowych strategii obrony antydronowej.

**Słowa kluczowe:** UAV, roje dronów, sztuczna inteligencja, bezpieczeństwo, wojna przyszłości, prawo wojny, etyka technologiczna

**Abstract**

The aim of this article is to analyze the concept of unmanned aerial vehicle (UAV) swarms in the context of future armed conflicts. The paper presents the origins, development, and technological conditions of this concept, as well as case studies covering the United States, China, and Ukraine. A qualitative analysis method based on triangulation of sources was used, including a review of scientific literature, strategic documents (DARPA, CNA, Ministry of National Defense), think tank reports, and national studies, including publications by the Military University of Aviation.

A comparative case study and content analysis were used to identify differences in the level of autonomy and integration of UAV swarms. The results indicate that the development of swarm technology is leading to a paradigm shift in warfare – from centralized weapon systems to decentralized, networked combat solutions. The article also points to key ethical and legal challenges related to the automation of combat decisions and recommends the development of national anti-drone defense strategies.

**Keywords:** UAV, drone swarms, artificial intelligence, security, future warfare, law of war, technological ethics

## Wprowadzenie

Współczesne konflikty zbrojne coraz częściej obejmują wykorzystanie bezzałogowych systemów powietrznych (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) nie tylko jako pojedyncze platformy, ale także jako skoordynowane, istotne jednostki „roju", które definiuje się jako współdziałające autonomiczne lub półautonomiczne UAV realizujące wspólną misję[1].

Koncepcja rojów dronów otwiera nowe możliwości operacyjne – masowe ataki, rozproszone działania w zakresie ISR (*Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance*), czyli wywiad, nadzór, rozpoznanie, koordynacja z załogowymi systemami (*manned-unmanned teaming*) – ale jednocześnie rodzi poważne wyzwania technologiczne, operacyjne, etyczne i prawne[2].

Celem artykułu jest analiza wykorzystania roju bezzałogowych systemów powietrznych (*UAV swar ms*) w kontekście przyszłych konfliktów zbrojnych.

## Historia i rozwój technologiczny

Początki UAV sięgają kilka dekad wcześniej, niemniej idea skoordynowanych rojów jest relatywnie nowa i intensywnie rozwijana w ostatnich latach. Dalszy rozwój koncepcji rojów UAV determinują między innymi liczne uwarunkowania technologiczne.

Koncepcja rojowych systemów bezzałogowych stanowi rezultat wieloletniego rozwoju trzech równoległych nurtów badań nad: sztuczną inteligencją, autonomiczną nawigacją oraz współdziałaniem agentów w systemach rozproszonych[3]. Pierwsze teoretyczne modele rojów powstały w latach 90. XX w.,

[1] Z. Kallenborn, *InfoSwarms*: *Drone Swarms and Information Warfare*, „Parameters" 2022, t. 52, nr 2, s. 87–102.

[2] M. Żmigrodzka, *Ethical Issues of Generative AI in the Aviation Cybersecurity Environment*, „European Scientific Journal" 2025, t. 21, nr 25.

[3] K. Kostur, A. Kunert-Diallo, T. Balcerzak, *Możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w zapewnianiu bezpieczeństwa operacji lotniczych oraz zrównoważonego rozwoju*, [w:] *Prawo lotnicze z perspektywy bezpieczeństwa oraz zrównoważonego rozwoju*, red. nauk. A. Konert, A. Fortońska, Warszawa 2025.

kiedy C. Reynolds opracował algorytm Boids symulujący zachowanie ptaków w locie grupowym[4]. Z czasem modele te zaczęto adaptować do potrzeb robotyki, a następnie lotnictwa bezzałogowego.

Przegląd literatury wskazuje, że choć technologia masowych i w pełni autonomicznych rojów nadal pozostaje w dużej mierze w stadium badawczym, tempo rozwoju jest szybkie[5]. Przykładowo, w artykule *UAV swarms: research, challenges, and future directions* autorzy opisują kompleksową analizę infrastruktury rojów UAV, najnowszych osiągnięć badawczych i różnorodnych zastosowań[6]. Z kolei raport CNA analizujący chińskie pisma wskazuje na znaczące przyspieszenie w kierunku rojów UAV w doktrynie *People's Liberation Army* (PLA)[7] i w chińskich dokumentach strategicznych. W niniejszym raporcie przeanalizowano publikacje Chińskiej Republiki Ludowej dotyczące rosnącego wykorzystania UAV – powszechnie nazywanych dronami – w działaniach wojennych[8]. Analitycy PLA stwierdzili, że ewolucja działań wojennych wykroczyła poza erę „informatyzacji" jako dominującej „formy wojny" i wkroczyła w erę „wojny inteligentnej", napędzanej częściowo przez potencjalne zastosowania sztucznej inteligencji (AI) na polu walki. Wiele chińskich publikacji opisuje asymetryczne możliwości dronów, wskazując na przykłady z ostatnich zakończonych lub trwających konfliktów, w których drony zapewniły użytkownikom znaczną przewagę. Często przytaczanym przykładem jest konflikt w Górskim Karabachu między Armenią a Azerbejdżanem z 2020 r., podobnie jak trwająca aktualnie wojna między Rosją a Ukrainą. W raporcie China Military Online z 2020 r. zauważono, że wielkie mocarstwa militarne, takie jak Stany Zjednoczone, Rosja, Japonia, Korea Południowa i sojusz Organizacji Traktatu Północnoatlantyckiego, posuwają się naprzód w badaniach nad dronami i przyjęły już nowe plany strategiczne dotyczące budowy dronów i rojów dronów z wykorzystaniem sztucznej inteligencji[9].

---

[4] C.W. Reynolds, *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model,* „Computer Graphics" 1987, t. 21, nr 4.

[5] https://warontherocks.com/?s=swarm+drones [dostęp: 15.06. 2025].

[6] Y. Alqudsi, M. Makaraci, *UAV swarms: research, challenges, and future directions*, „Journal of Engineering and Applied Science" 2025, t. 72, nr 12.

[7] Chińska Armia Ludowo-Wyzwoleńcza (PLA) prowadzi intensywne badania nad zastosowaniem rojów w ramach tzw. *Intelligentized Warfare* – nowego paradygmatu wojny opartej na sztucznej inteligencji; zob. E. Kania, *PLA Intelligentized Warfare and Unmanned Systems*, „Air University Press" 2024.

[8] T. Ditter, *PRC Concepts for UAV Swarms in Future Warfare*, https://www.cna.org/analyses/2025/10/prc-concepts-for-uav-swarms-in-future-warfare [dostęp: 15.06. 2025].

[9] M. Żmigrodzka, *Drony w siłach zbrojnych Federacji Rosyjskiej*, [w:] *Filozoficzne i prawne problemy polityki*, red. nauk. Z. Sirojć, W. Słomski, Oficyna Wydawnicza ASPRA, 2021.

Wdrożenie technologii bezzałogowych w połączeniu ze sztuczną inteligencją opisano jako „strategiczną przewagę wywiadu wojskowego”[10]. Warto również wspomnieć o kluczowych programach wojskowych, takich jak DARPA Gremlins w USA, które zmierzają ku koncepcji tanich, licznych, wyrzucanych z powietrza (*air-launched*) platform[11]. Technologiczne aspekty rozwoju obejmują zagadnienia takie jak autonomiczne algorytmy koordynacji, kontrola formacji, odporność na zakłócenia, komunikacja rozproszona[12]. Te przykłady mogą wskazywać na znaczący rozwój tej dziedziny. Jednocześnie ewolucja technologii do w pełni operacyjnych rojów o masowej skali wciąż napotyka istotne bariery.

**Fot. 1. Rój dronów**

Źródło: https://warontherocks.com/2025/08/drones-arent-swarming-yet-but-they-could [dostęp: 2.11.2025].

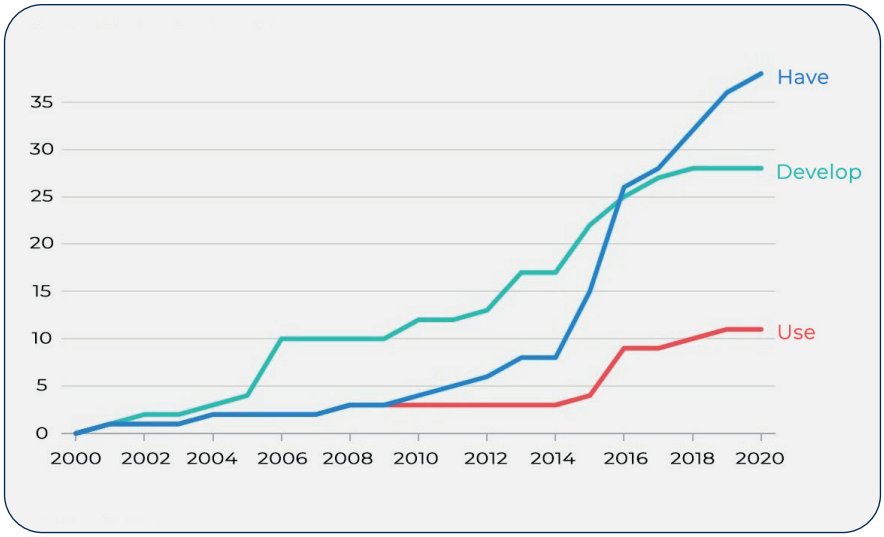
[10] Eksperci z Narodowego Uniwersytetu Technologii Obronnych rozszyfrowują „taktykę roju” bezzałogowych środków bojowych typu; zob. Y. Alqudsi, M. Makaraci, *UAV swarms...*, dz. cyt., s. 101–118.

[11] DARPA, Gremlins Program Overview. U.S. Defense Advanced Research Projects Agency, 2024.

[12] Y. Bu, Y. Yan, Y. Yang, *Advancement Challenges in UAV Swarm Formation Control: A Comprehensive Review*, „Drones” 2024, t. 8, nr 320.

## Przykłady zastosowań operacyjnych i koncepcje doktrynalne

Choć pełne zastosowanie rojów „setek czy tysięcy dronów" jeszcze nie zostało potwierdzone, obserwacje konfliktów i analizy wskazują na już istniejące użycia oraz intensywną pracę nad wdrożeniem. Przykładowo, analiza *Swarm Clouds on the Horizon* wskazuje, że technologia rojów dronów może być realizowana szybciej niż inne zaawansowane systemy i możliwe jest jej użycie m.in. do pokonywania obrony przeciwrakietowej, działań przeciw nawodnym środkom (*anti-ship*) czy przy operacjach lądowo-morskich[13]. W raporcie New America z 2020 r. skatalogowano 38 państw z programami uzbrojonych dronów, 28 z programami w fazie rozwoju i 11, które używały dronów w walce. W ciągu niecałych czterech lat od opublikowania tego raportu szybko rosnący wpływ dronów na polach bitew prawie na pewno zwiększył zainteresowanie państw rozwijaniem programów uzbrojonych dronów. W związku z tym istniejące programy prawdopodobnie się rozszerzą, powstaną nowe, a innowacyjne państwa będą ścigać i używać dronów[14].




**Wykres 1. Rozwój, pozyskiwanie i wykorzystanie uzbrojonych dronów przez państwa na przestrzeni czasu**

Źródło: M. Daronowska, K. Kutwa, *Biała Księga*..., dz. cyt., s. 65.

[13] Z. Kallenborn, *Swarm Clouds on the Horizon? Exploring the Future of Drone Swarm Proliferation*, https://mwi.westpoint.edu/swarm-clouds-on-the-horizon-exploring-the-future-of-drone-swarm-proliferation [dostęp: 2.11.2025].

[14] Tamże; https://www.newamerica.org/future-security/reports/world-drones/introduction-how-we-became-a-world-of-drones [dostęp: 2.11.2025].

Wykres 1 przedstawia bazę danych New America's World of Drones. Umieszczono na nim podzielone na trzy grupy kraje: używające drony w walce (oznaczone jako USE), posiadające uzbrojone drony, ale nieużywane dotychczas w walce (oznaczone jako DEVELOP), oraz produkujące uzbrojone drony (oznaczone jako HAVE). Możliwości dronów w danym kraju są klasyfikowane zgodnie z systemem poziomów Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych. Poziom I obejmuje drony o niskiej wysokości i wytrzymałości, takie jak Orbiter; poziom II składa się z dronów o średniej wysokości i wytrzymałości, takich jak Reaper lub wycofany Predator; poziom II+ dotyczy dronów o dużej wysokości i wytrzymałości, takich jak Global Hawk. Mini i mikro drony nie są klasyfikowane w systemie poziomów. Raport o PLA podkreśla koncepcję *manned-unmanned teaming* (MUM-T), czyli wykorzystanie załogowych platform jako „matki" lub koordynatora dla rojów UAV[15]. Wśród kluczowych koncepcji operacyjnych wyróżnia się:

- rozproszone C2 (dowodzenie i kontrola) – zastosowanie celem uniknięcia pojedynczej awarii;
- zdolność do masowego wyrzutu (*mass launch*) dronów, które dzięki liczbie mogą przytłoczyć system obrony przeciwnika (*swarm vs. point defence*);
- integrację między domenami – powietrze, ląd, woda, kosmos (*InfoSwarms: Drone Swarms and Information Warfare*).

Te przykłady i koncepcje wskazują, że systemy rojów nie są jedynie eksperymentem laboratoryjnym – ich potencjał operacyjny jest realny i coraz bliższy wdrożenia.

## Technologie umożliwiające zastosowanie rojów UAV

Aby roje UAV mogły działać efektywnie, konieczne jest zastosowanie nowych technologii. Najważniejsze z nich to autonomia i sztuczna inteligencja (AI).

Przykładem kluczowej technologii są algorytmy pozwalające dronom na autonomiczną lub półautonomiczną współpracę oraz podejmowanie decyzji w warunkach komunikacyjnych ograniczeń[16]. Technologia musi polegać na utrzymaniu formacji i kontroli grupy dronów. Tu wykorzystywane są systemy leader-follower lub wirtualna rzeczywistość[17]. Technologia komunikacji rozproszonej ma wzmacniać odporność na zakłócenia.

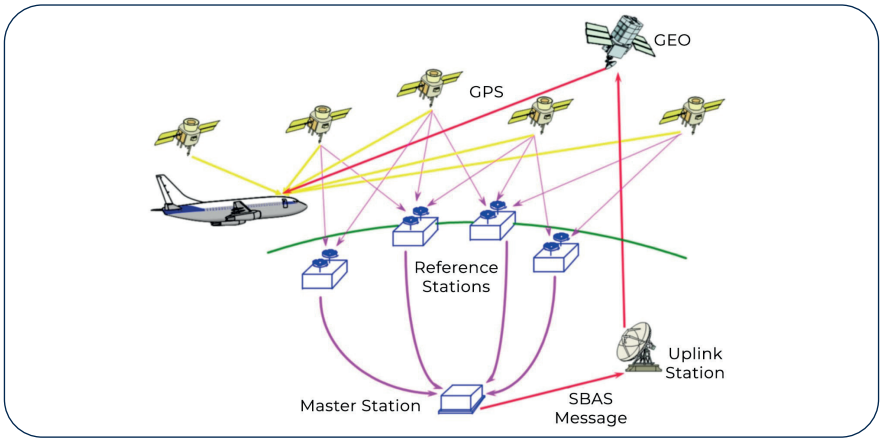
Kolejnym przykładem takiej technologii jest system wspomagania satelitarnego SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*), którego model przedstawiono na rysunku 1.

---

[15] T. Ditter, *PRC Concepts...*, dz. cyt.

[16] R. Arranz i in., *Application of Deep Reinforcement Learning to UAV Swarming for Ground Surveillance*, „Sensors" 2023, t. 23, s. 8766.

[17] B. Baranowska, *Koncepcja metodyki doboru członków wirtualnych zespołów projektowych*, „Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów" 2025, t. 200.




**Rys. 1. Model systemu SBAS**

Źródło: https://www.researchgate.net/figure/Satellite-Based-Augmentation-System-SBAS-architecture-14_fig1_341721948 [dostęp: 2.11.2025].

Działanie SBAS polega na zwiększeniu dokładności, dostępności oraz niezawodności sygnałów GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Zostało to osiągnięte poprzez wykorzystanie kilku stacji naziemnych, satelitów komunikacyjnych, które wysyłają sygnały korekcyjne. Skorygowane informacje są przesyłane z centrów kontroli do dedykowanych geostacjonarnych satelitów komunikacyjnych. Satelity geostacjonarne nadają dane korekcyjne do wszystkich odbiorników z włączonym systemem SBAS w swoim obszarze zasięgu.

Przykładami sieci SBAS są:

- WAAS (system wspomagania szerokiego zasięgu) używany w Ameryce Północnej przez FAA;
- EGNOS (Europejski Geostacjonarny System Wspomagania Nawigacyjnego) obejmujący Europę;
- GAGAN (nawigacja geograficzna wspomagana GPS) dla Indii;
- MSAS (wielofunkcyjny system wspomagania satelitarnego) dla Japonii[18].

SBAS dzięki osiągnięciu dużej dokładności stosowany jest w lotnictwie, nawigacji i geodezji.

Rola systemu przewiduje działanie w warunkach wojny elektronicznej, ograniczonych łączności, możliwych przeciwdziałań (*jamming*, *spoofing*). Artykuł R.E. Price'a wskazuje na trudności w operacjonalizacji autonomii i komunikacji[19].

[18] J. Stoner, *SBAS w dronach: co to oznacza i gdzie się go używa*, https://www.flyeye.io/drone-acronym-sbas [dostęp: 2.11.2025].

[19] R.E. Price, *Defining Swarm. A Critical Step Toward Harnessing the Power of Autonomous Systems*, https://www.armyupress.army.mil/journals/military-review/online-exclusive/2025-ole/defining-swarm [dostęp: 2.11.2025].

Kolejną technologią jest produkcja tanich, licznych platform (*attritable assets*), gdzie kluczowe jest, by drony były tanie w produkcji i łatwe do wyrzutu w masie, co zwiększa ekonomiczność rojów.

W takiej technologii mamy do czynienia z integracją sensorów, pozycjonowaniem i działaniem w nieprzyjaznym środowisku. W artykule *Swarm of drones in a simulation environment – efficiency and adaptation* autorzy poruszają kluczową rolę symulacji SITL (*software-in-the-loop*) w testowaniu algorytmów. Algorytmy mają za zadanie optymalizację potrzebnej ilości dronów, liczby misji, adaptacyjności[20].

Technologie te razem tworzą fundament, na którym może się rozwinąć realne zastosowanie rojów UAV w przyszłych konfliktach.

## Środki antyrojowe UAV

Jeśli roje UAV staną się powszechnym zagrożeniem, równie ważne stanie się rozwijanie środków przeciwdziałających – zarówno technologicznych, jak i operacyjnych.

W publikacji *Countering Swarms: Strategic Considerations and Opportunities in Drone Warfare* autorzy wskazują, że siły zbrojne muszą przygotować się na „one-to-many" – zagrożenia, gdzie pojedynczy system musi przeciwdziałać wielu dronom równocześnie[21].

Publikacja *A Study of Anti-drone Swarming Strategies* prezentuje różne techniki: *soft-kill* (*jamming*, *spoofing*, *cyber*), *hard-kill* (lasery, HPM, kinetyczne pociski), wielowarstwowa obrona[22]. Z drugiej strony, rozwój takich środków napotyka ograniczenia w postaci kosztów, zasobów energetycznych, skuteczności przeciw dużym ilościom dronów, identyfikacji w czasie rzeczywistym, minimalizacji strat, czyli eliminacji „friendly fire". Co więcej, istnieje dynamiczny wyścig tanich rojów dronów[23]. Problematyka obronna może być ekonomicznie nieefektywna, jeśli koszt każdej neutralizacji będzie znacznie wyższy niż sam dron[24].

---

[20] D. Marek i in., *Swarm of drones in a simulation environment – efficiency and adaptation*, „Applied Sciences" 2024, t. 14, nr 9; E. Bates, S.R. Quick, *Drones Aren't Swarming Yet – But They Could*, https://warontherocks.com/2025/08/drones-arent-swarming-yet-but-they-could [dostęp: 2.11.2025].

[21] J.B. Bell, *Countering Swarms. Strategic Considerations and Opportunities in Drone Warfare*, https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/jfq/jfq-107/jfq-107_4-14_Bell.pdf?ver=mvjNNii9AA2OUQau2KBWTA%3D%3D [dostęp: 2.11.2025].

[22] K. Guo, Q. Wu, *A Study of Anti-Drone Swarming Strategies*, „World Scientific Research Journal" 2025, t. 11, nr 2, s. 98–104.

[23] J. Pietrucha, *Ekonomika obrony antydronowej*, „Wojskowy Przegląd Techniczny" 2023, nr 6, s. 32–47.

[24] D. Bogusz, K. Ogonowski, *Anti-drone system as a part of air transport protection*, 23rd international scientific conference Transport Means 2019, Troki 2019.

Dla pełnej obrony konieczne będzie połączenie: detekcji, identyfikacji, klasyfikacji, przeciwdziałania i operacyjnego reagowania. Przykładem jest sytuacja naruszenia Polskiej przestrzeni powietrznej z 9 na 10 września 2025 r., którą premier Donald Tusk nazwał „prowokacją na dużą skalę". Do sytuacji doszło przez znaczną liczbę dronów. W związku z incydentem wojsko zestrzeliło część tych, które stanowiły zagrożenie[25].

## Aspekty prawne i etyczne

Wraz z rozwojem rojów UAV pojawiają się poważne pytania: Kto ponosi odpowiedzialność za decyzje autonomicznych systemów? Czy systemy bez odpowiedniego nadzoru człowieka (*meaningful human control*) spełniają warunki prawa konfliktów zbrojnych? Autorzy artykułu *Artificial Intelligence, Drone Swarming and Escalation Risks in Future Warfare* analizują strategiczne skutki proliferacji autonomicznych systemów i wskazują na ryzyko eskalacji, destabilizacji nuklearnej, zmniejszenia barier wejścia w konflikt. Ponadto przegląd techniczny wskazuje, że choć technologia rojów może być dostępna dla państw średnich i podmiotów niepaństwowych, to zarządzanie i regulacja tych systemów pozostaje słabo rozwinięta[26]. Etyczne wątpliwości dotyczą nie tylko prawa do zabijania przez maszyny, lecz także psychologicznych skutków użycia rojów. Jak pisze B. Zieliński, „masowe, anonimowe systemy zabijania mogą osłabić moralne hamulce i uczynić wojnę bardziej bezosobową"[27]. Dodatkowo roje UAV mogą zostać użyte przez podmioty niepaństwowe, co zwiększa ryzyko eskalacji i braku kontroli nad użyciem siły.

Z perspektywy etyki wojskowej pojawia się konieczność opracowania kodeksów użycia systemów autonomicznych[28]. W Polsce temat ten został podjęty przez Zespół ds. Etyki AI w Bezpieczeństwie Narodowym przy MON, który zaproponował zasadę priorytetyzacji człowieka[29]. Jest to zasada traktowana jako minimalny wymóg moralny. Zatem, aspekt prawny i etyczny nie może być tylko dodatkiem – staje się centralnym elementem przy planowaniu i wdrażaniu rojów UAV.

---

[25] Ministerstwo Rozwoju i Technologii, *Bezprecedensowe naruszenia polskiej przestrzeni powietrznej przez obiekty typu dron*, https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/bezprecedensowe-naruszenia-polskiej-przestrzeni-powietrznej-przez-obiekty-typu-dron [dostęp: 2.11.2025].

[26] J. Johnson, *Artificial Intelligence, Drone Swarming and Escalation Risks in Future Warfare*, „The RUSI Journal" 2020, t. 165, nr 2, s. 26–36.

[27] B. Zieliński, *Moralność wojny maszyn*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2022.

[28] T. Balcerzak, *Aspekty prawne i etyczne użycia systemów autonomicznych w lotnictwie wojskowym*, „Zeszyty Naukowe LAW" 2023, t. 3, nr 60, s. 91–104.

[29] MON, *Bezzałogowe systemy powietrzne w Polsce – szanse i zagrożenia*, Warszawa 2023.

## Geopolityczne implikacje i scenariusze przyszłości

Z perspektywy geopolitycznej roje UAV mogą znacząco zmienić bilans sił, szczególnie dla państw mniej zaawansowanych technologicznie, które mogą stosunkowo tanio zakupić lub opracować drony i użyć ich w większej liczbie przeciw droższym platformom przeciwnika. W artykule Z. Kallenborn wskazał na możliwość rozprzestrzenienia i rozwoju technologii roju dronów szybciej niż wielu innych zaawansowanych systemów[30].

Scenariusze przyszłości obejmują rozwój w obszarach m.in.:

- masowych ataków rojowych na systemy obrony powietrznej lub jednostki morskie;
- zastosowania dronów jako zasobów jednorazowego użycia w liczbie setek lub tysięcy;
- integracji z systemami lądowymi, morskimi, kosmicznymi;
- zmniejszenia barier zastosowania – nawet podmioty niepaństwowe mogą potencjalnie użyć rojów[31].

## Wyzwania badawcze i rekomendacje

Choć perspektywy są ogromne, istnieje szereg wyzwań – zarówno technologicznych, jak i systemowych – które wymagają dalszych badań i udoskonaleń. Jednym z przykładowych wyzwań jest opanowanie skali dronów. Należy znaleźć rozwiązania umożliwiające zarządzanie setkami czy tysiącami UAV, zapewnić skuteczną komunikację i koordynację roju dronów oraz skuteczne współdziałanie dronów. Kolejnym wyzwaniem jest odporność na zakłócenia. Atak przeciwnika na komunikację GPS, wpłynie na systemy rojów, które muszą być na takie zagrożenia odporne.

Problematyczna staje się kwestia integracji człowieka z maszyną. Szczególnie zwraca się uwagę na odpowiedzialność i rolę operatora. Należy zapewnić tzw. *meaningful human control*, czyli kontrolę człowieka nawet w sytuacjach, kiedy system tego nie wymaga. W tym momencie nasuwają się wyzwania związane z normami prawnymi i etycznymi. Wraz z rozwojem rojów dronów rodzi się pilna potrzeba regulacji, standardów oraz interoperacyjności międzynarodowej.

Istotnym zagadnieniem pozostaje również sprawa kosztów w relacji do efektywności systemów. Czy tanie drony w dużej liczbie mogą być efektywne? Należy opracować bilans kosztów produkcji, operacji i strat w działalności systemu. Jednocześnie należy rozwijać technologie antyrojowe tzw. *kontr-swarm*. Konieczne jest przeprowadzanie badań równolegle nad odpornością i obroną, a także przygotowanie się na ofensywę rojów.

---

30 Z. Kallenborn, *Swarm Clouds...*, dz. cyt.

31 M. Szczurek, T. Czapski, *Zintegrowane systemy detekcji UAV*, WAT Press, 2023.

Biorąc pod uwagę dane źródłowe, należy podkreślić, że decydenci i badacze powinni zwiększyć finansowanie testów w warunkach realistycznych oraz rozwijać wspólne standardy (zwłaszcza w ramach sojuszy), a także pilnie rozpocząć prace zarówno legislacyjne, jak i etyczne zanim technologia stanie się powszechna.

Rojowe systemy UAV, choć nadal w pewnej mierze eksperymentalne, stają się realną częścią przyszłych operacji wojskowych. Ich potencjał w zakresie liczebności, rozproszenia, autonomii i niszczycielskiej siły może zmienić sposób prowadzenia działań zbrojnych. Jednocześnie jednak branży dronowej towarzyszą poważne wyzwania: technologiczne (skala, niezawodność), operacyjne (logistyka, koordynacja), obronne (*kontr-swarm*), oraz prawno-etyczne (odpowiedzialność, kontrola). Aby w pełni wykorzystać możliwości, a jednocześnie ograniczyć ryzyka, konieczna jest strategia zintegrowana – połączenie technologii, doktryny, prawa/etyki oraz współpracy międzynarodowej. Dla państw średnich i mniejszych technologie rojów mogą stanowić punkt zwrotny w pozyskaniu przewagi. Stanowi to wyzwanie nie tylko dla supermocarstw, ale i dla całego systemu bezpieczeństwa międzynarodowego. Podjęcie badań i działań przygotowawczych już dziś może okazać się kluczowe w przyszłości.

## Bibliografia


Alqudsi Y., Makaraci M., *UAV swarms: research, challenges, and future directions*, „Journal of Engineering and Applied Science" 2025, t. 72, nr 12.

Arranz R. i in., *Application of Deep Reinforcement Learning to UAV Swarming for Ground Surveillance*, „Sensors" 2023, t. 23.

Baek J. i in., *AI-based multi-sensor fusion for small drone detection*, „Defense Technology Review" 2024, nr 18(2).

Balcerzak T., *Aspekty prawne i etyczne użycia systemów autonomicznych w lotnictwie wojskowym*, „Zeszyty Naukowe LAW" 2023, t. 3, nr 60.

Baranowska B., *Koncepcja metodyki doboru członków wirtualnych zespołów projektowych*, „Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów" 2025, t. 200.

Bogusz D., Ogonowski K., *Anti-drone system as a part of air transport protection*, 23rd international scientific conference Transport Means 2019, Troki 2019.

Bu Y., Yan Y., Yang Y., *Advancement Challenges in UAV Swarm Formation Control: A Comprehensive Review*, „Drones" 2024, t. 8, nr 320.

DARPA, Gremlins Program Overview. U.S. Defense Advanced Research Projects Agency, 2024.

Guo K., Wu Q., *A Study of Anti-Drone Swarming Strategies*, „World Scientific Research Journal" 2025, t. 11, nr 2.

https://mwi.westpoint.edu.

https://ndupress.ndu.edu.

https://warontherocks.com.

https://www.armyupress.army.mil.

https://www.cna.org.

https://www.gov.pl.

https://www.newamerica.org.

https://www.researchgate.net.

Jakubczak R., Koziej S., *Bezpieczeństwo narodowe RP w XXI wieku*, Akademia Sztuki Wojennej, Warszawa 2020.

Johnson J., *Artificial Intelligence*, *Drone Swarming and Escalation Risks in Future Warfare*, „The RUSI Journal" 2020, t. 165, nr 2.

Kallenborn Z., *InfoSwarms: Drone Swarms and Information Warfare*, „Parameters" 2022, t. 52, nr 2.

Kallenborn Z., *The era of swarming drones*, „Parameters" 2024, t. 54, nr 1.

Kania E., *PLA Intelligentized Warfare and Unmanned Systems*, „Air University Press" 2024.

Kostur K., Kunert-Diallo A., Balcerzak T., *Możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w zapewnianiu bezpieczeństwa operacji lotniczych oraz zrównoważonego rozwoju*, [w:] *Prawo lotnicze z perspektywy bezpieczeństwa oraz zrównoważonego rozwoju*, red. nauk. A. Konert, A. Fortońska, Warszawa 2025.

Marek D. i in., *Swarm of drones in a simulation environment – efficiency and adaptation*, „Applied Sciences" 2024, t. 14, nr 9.

MON, *Bezzałogowe systemy powietrzne w Polsce – szanse i zagrożenia*, Warszawa 2023.

Pietrucha J., *Ekonomika obrony antydronowej*, „Wojskowy Przegląd Techniczny" 2023, nr 6.

Reynolds C.W., *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model*, „Computer Graphics" 1987, t. 21, nr 4.

Szczurek M., Czapski T., *Zintegrowane systemy detekcji UAV*, WAT Press, 2023.

U.S. Department of Defense, *Joint All-Domain Operations Concept*, DoD Publication JP 3-0, 2023.

Zieliński B., *Moralność wojny maszyn*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2022.

Żmigrodzka M., *Drony w siłach zbrojnych Federacji Rosyjskiej*, [w:] *Filozoficzne i prawne problemy polityki*, red. nauk. Z. Sirojć, W. Słomski, Oficyna Wydawnicza ASPRA, 2021.

Żmigrodzka M., *Ethical Issues of Generative AI in the Aviation Cybersecurity Environment*, „European Scientific Journal" 2025, t. 21, nr 25.

**dr Marek Kustra**
Akademia Sztuki Wojennej w Warszawie
ORCID: 0000-0003-1169-7483

# Bezpieczeństwo lotów BSP w polskiej przestrzeni powietrznej

## Safety of UAV flights in Polish airspace

**Streszczenie**
Tematyka artykułu została poświęcona aspektom odnoszącym się do bezpieczeństwa wykonywania lotów przy pomocy bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w polskiej przestrzeni powietrznej. Poruszone wątki w sposób syntetyczny ukazują istotę zagadnienia poprzez wskazanie uwarunkowań prawnych na podstawie Ustawy Prawo lotnicze jako zasadniczego dokumentu stanowiącego ramy prawne dla lotnictwa cywilnego w Polsce. Dokonano także charakterystyki wybranych narzędzi technicznych, które są dedykowane dla pilotów/operatorów BSP. Na potrzeby opracowania przyjęto następujące założenia metodologiczne. Celem artykułu jest charakterystyka zasadniczych aspektów odnoszących się do bezpieczeństwa wykonywania lotów w polskiej przestrzeni powietrznej przy pomocy BSP. Problem badawczy sformułowano w postaci pytania: Jakie są zasadnicze uwarunkowania prawne oraz techniczne narzędzia warunkujące i wspierające pilotów/operatorów przy wykonaniu lotów BSP? Warto zauważyć, że proces badawczy pozwolił na określenie dodatkowych obszarów badawczych wskazanych w podsumowaniu pracy.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo, BSP, przestrzeń powietrzna, pilot/operator BSP, przepisy prawne

**Abstract**
The subject of the article was devoted to aspects relating to the safety of UAVs flights in Polish airspace. The topics discussed concisely illustrate the essence of the issue by identifying the legal framework under the Aviation Law Act, which serves as the fundamental document constituting the legal framework for civil aviation in Poland. Selected technical tools designed for UAV pilots/operators are also described. The following methodological assumptions were adopted for this study. The aim of the article was to characterize the fundamental aspects related to the safety of flights conducted in Polish airspace using UAVs. The research problem was formulated as the following question: What are the fundamental legal conditions and technical

tools chich are to support pilots/operators in conducting UAV flights? It is worth to note that the research process allowed to identify additional research areas, which were identified at the conclusion of the paper.

**Keywords:** safety, UAV, airspace, UAV pilot/operator, legal regulations

## Wprowadzenie

Warunki wykorzystania przestrzeni powietrznej ewoluują z każdym rokiem. Zmiany wynikają m.in. z rosnącego natężenia ruchu lotniczego zarówno załogowego, jak i bezzałogowego. Bez wątpienia następuje wzrost znaczenia oraz roli bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w polskiej przestrzeni powietrznej. Poruszając aspekty ruchu bezzałogowego, należy mieć na myśli ruch cywilny, wojskowy oraz służb porządku publicznego, a także innych służb i instytucji. Jednak dla potrzeb niniejszego opracowania autor ograniczył rozważania do ruchu cywilnego.

Cel artykułu stanowi charakterystyka zasadniczych aspektów odnoszących się do bezpieczeństwa wykonywania lotów w polskiej przestrzeni powietrznej przy pomocy BSP. Problem badawczy sformułowano w postaci pytania: Jakie są zasadnicze uwarunkowania prawne oraz techniczne narzędzia warunkujące i wspierające pilotów/operatorów przy wykonaniu lotów BSP? W procesie badawczym wykorzystano metody badawcze: analiza, synteza, wnioskowanie, uogólnienie, kwerenda literatury. Manuskrypt obejmuje wybrane aspekty następujących elementów: wprowadzenie, prawne aspekty wykonania lotu BSP, dedykowane narzędzia wsparcia dla pilota BSP, świadomość bezpieczeństwa pilota BSP, podsumowanie i bibliografia.

## Prawne aspekty wykonania lotu BSP

Rozwojowi technologicznemu, w rozważanym przypadku rozwojowi technologii bezzałogowej i wykonywaniu lotów BSP w przestrzeni powietrznej, powinien towarzyszyć rozwój aspektów prawnych. Jest to istotne z uwagi na fakt, iż prawo nie powinno być barierą ograniczającą, a wskaźnikiem, swego rodzaju kierunkowskazem wskazującym możliwości rozwojowe, możliwości prawne, ramy bezpieczeństwa. W tym miejscu należy wskazać Ustawę Prawo lotnicze, która została poddana nowelizacji na mocy Ustawy z dnia 24 stycznia 2025 r. o zmianie ustawy – Prawo lotnicze oraz niektórych innych ustaw. Poniżej dokonano syntetycznego opisu wybranych fragmentów ustawy. Na wstępie warto pochylić się nad zakresem definicyjnym, w którym uwypuklono następujące podstawowe pojęcia:

1. bezzałogowy statek powietrzny – „bezzałogowy statek powietrzny w rozumieniu art. 3 pkt 30 rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych

zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego oraz zmieniającego rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 2111/2005, (WE) nr 1008/2008, (UE) nr 996/2010, (UE) nr 376/2014 i dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE i 2014/53/UE, a także uchylającego rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 552/2004 i (WE) nr 216/2008 i rozporządzenie Rady (EWG) nr 3922/91 (Dz.Urz. UE L 212 z 22.08.2018, str. 1, z późn. zm.)"[1];

2. system bezzałogowego statku powietrznego – „system bezzałogowego statku powietrznego w rozumieniu art. 2 pkt 1 rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz.Urz. UE L 152 z 11.06.2019, str. 45, z późn. zm.)"[2];
3. operator systemu bezzałogowego statku powietrznego – „operator systemu bezzałogowego statku powietrznego w rozumieniu art. 2 pkt 2 rozporządzenia nr 2019/947/UE"[3];
4. pilot bezzałogowego statku powietrznego – „pilot bezzałogowego statku powietrznego w rozumieniu art. 3 pkt 31 rozporządzenia nr 2018/1139/UE"[4];
5. rój bezzałogowych statków powietrznych – „operacje co najmniej dwóch bezzałogowych statków powietrznych, których ruch jest wzajemnie i automatycznie koordynowany, kontrolowane przez pilota bezzałogowego statku powietrznego za pośrednictwem jednego wyposażenia do zdalnego sterowania bezzałogowym statkiem powietrznym"[5].

Zasadniczą część Ustawy Prawo lotnicze w odniesieniu do BSP stanowi Dział VIa. Bezzałogowe statki powietrzne, który podzielono na sześć tematycznych rozdziałów:

1. wykonywanie operacji z użyciem systemu bezzałogowego statku powietrznego;
2. strefy geograficzne dla systemów bezzałogowych statków powietrznych;
3. rejestr operatorów systemów bezzałogowych statków powietrznych;
4. wyznaczone podmioty, uznane podmioty oraz operatorzy szkolący;
5. dokumenty potwierdzające kwalifikacje, szkolenia i egzaminy oraz wymagania w zakresie wieku pilota bezzałogowego statku powietrznego;
6. zapobieganie bezprawnemu wykonywaniu operacji z użyciem systemu bezzałogowego statku powietrznego[6].

---

[1] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze, art. 2, pkt 1a.

[2] Tamże, art. 2, pkt 1b.

[3] Tamże, art. 2, pkt 24.

[4] Tamże, art. 2, pkt 25.

[5] Tamże, art. 2, pkt 26.

[6] Tamże, Dział VIa.

W rozdziale 1 wskazano, iż zamiar wykonania operacji z użyciem BSP pilot lub operator jest zobligowany każdorazowo zgłosić do Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej (PAŻP), stosując dedykowany system teleinformatyczny wymieniony w art. 3b ust. 1 pkt 1 ustawy z dnia 8 grudnia 2006 r. o Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej. Jednak od powyższego dopuszczalne jest odstępstwo dla podmiotu wykonującego:

> [...] operacje z użyciem systemu bezzałogowego statku powietrznego w związku z zapewnieniem bezpieczeństwa publicznego i porządku publicznego, bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, bezpieczeństwa państwa, obronności państwa, a także w związku z ochroną granicy państwowej, prowadzeniem działań poszukiwawczo-ratowniczych lub przeciwpożarowych oraz przeciwdziałaniem przestępczości środowiskowej, a także w związku z prowadzeniem kontroli podmiotów w tym zakresie[7].

Nie mniej jednak, nie oznacza to braku informowania PAŻP o zamiarze wykonania lotu – wykonuje się to w inny sposób wskazany przez Agencję.

Rozdział 2 porusza tematykę stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych (strefy geograficzne dla SBSP). Strefy te przeznaczone są do ruchu BSP zgodnie z zasadami i uprawnieniami wymaganymi przez zarządzającego strefą. Wyznaczane są one przez PAŻP w dwóch przypadkach przy uwzględnieniu „zakazów lub ograniczeń lotów określonych w przepisach wydanych na podstawie art. 119 ust. 4 i 5 oraz struktury przestrzeni powietrznej określonej w przepisach wydanych na podstawie art. 121 ust. 5"[8] Ustawy Prawo lotnicze:

- z inicjatywy PAŻP, gdy zaistnieje konieczność zapewnienia bezpieczeństwa operacji wykonywanych z użyciem SBSP;
- na wniosek podmiotu uprawnionego do wnioskowania o strefy geograficzne dla SBSP[9].

Warto również zauważyć, że zgodnie z artykułem 156l ust. 1–3 operatorzy BSP zobligowani są do rejestracji w rejestrze operatorów, który prowadzony jest przy użyciu systemu teleinformatycznego zgodnie z art. 14 ust. 4–6 rozporządzenia nr 2019/947/UE przez Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego.

Sprecyzowano także rodzaje dokumentów potwierdzających posiadane kwalifikacje pilota BSP, które uprawniają do wykonywania operacji SBSP[10].

Jednak na szczególną uwagę zasługuje rozdział 6 rozważanego działu, który poświęcono zapobieganiu bezprawnemu wykonywaniu operacji z użyciem SBSP. Rozszerzono listę podmiotów i służb mogących

---

[7] Tamże, Dział VIa, art. 156a, ust. 2–3.

[8] Tamże, Dział VIa, art. 156h, ust. 1.

[9] Katalog podmiotów uprawnionych do wnioskowania o strefy geograficzne dla SBSP zawarty został w Dziale VIa, art. 156h, ust. 4 Ustawy Prawo lotnicze.

[10] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze, Dział VIa, art. 156p, ust. 1.

dokonać sprawdzenia, czy osoba użytkująca SBSP wykonuje lot zgodnie z przepisami prawa[11]. Dopuszczono także zniszczenie lub unieruchomienie czy też przejęcie kontroli nad BSP przez uprawnione służby i podmioty w sytuacjach, gdy[12]:

1. sposób wykonania operacji lub działanie BSP:
   - zagraża lub może zagrozić życiu lub zdrowiu ludzi lub zwierząt;
   - stwarza lub może stworzyć zagrożenie dla chronionych obiektów, urządzeń lub obszarów;
   - zakłóca lub może zakłócić przebieg imprezy masowej albo zagraża bezpieczeństwu jej uczestników;
   - stwarza lub może stworzyć uzasadnione podejrzenie, że może zostać użyty jako środek ataku terrorystycznego;
   - stwarza lub może stworzyć zagrożenie bezpieczeństwa ruchu lotniczego, statku powietrznego lub życia lub zdrowia załogi lub pasażerów znajdujących się na jego pokładzie;
   - utrudnia lub może utrudnić ruch lotniczy lub powoduje lub może spowodować jego wstrzymanie lub ograniczenie;
2. wykonywana jest operacja BSP wbrew ustanowionemu zakazowi w strefie geograficznej nad:
   - chronionymi obiektami Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej oraz jednostek organizacyjnych podległych lub podporządkowanych Ministrowi Obrony Narodowej lub nadzorowanych przez Ministra Obrony Narodowej;
   - obiektami, urządzeniami lub obszarami istotnymi dla bezpieczeństwa lub obronności państwa, bezpieczeństwa publicznego lub nienaruszalności granicy państwowej.

Nałożono również na operatorów SBSP użytkujących statki powietrzne o masie z zakresu 0,25 kg – 20 kg obowiązek posiadania ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej, co stanowi znaczną modyfikację przepisów[13].

Nie bez znaczenia pozostaje również katalog kar pieniężnych, którym podlegają osoby wykonujące operacje BSP niezgodnie z przepisami. Nowelizacja prawa lotniczego w tym zakresie wywołała mnóstwo kontrowersji wśród użytkowników BSP, jednak z całą pewnością ma ona charakter prewencyjny, mobilizujący do wykonywania operacji w zgodzie z obowiązującymi przepisami.

---

[11] Tamże, Dział VIa, art. 156zd, ust. 1.

[12] Tamże, Dział VIa, art. 156ze, ust. 1; szerzej, w tym wykaz podmiotów uprawnionych do zniszczenia, unieruchomienia lub przejęcia kontroli nad BSP zob. tamże, Dział VIa, art. 156ze.

[13] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze, art. 209, ust. 1a.

## Dedykowane narzędzia wsparcia dla pilota BSP

Technologiczny rozwój BSP związany jest także z dynamicznym wzrostem ruchu BSP w polskiej przestrzeni powietrznej. Bez wątpienia generuje to pewnego rodzaju zagrożenia, niezbędna jest znajomość zajętości przestrzeni powietrznej przez użytkowników oraz zgłaszanie zamiaru wykonania operacji BSP (co zostało wyżej omówione). W tym zakresie pomocne są narzędzia wytworzone przez PAŻP, tj. aplikacja DroneTower oraz serwis internetowy DroneMap[14].

Aplikacja DroneTower to dedykowane narzędzie przeznaczone do[15]:

- zgłaszania zamiaru wykonania lotu;
- koordynacji lotów BSP;
- niewerbalnej dwukierunkowej komunikacji pomiędzy służbami ruchu lotniczego (ATS) a pilotem BSP;
- wizualizacji zajętości przestrzeni powietrznej w czasie rzeczywistym zgodnie z AUP/UUP;
- wizualizacji dostępu do danych aeronautycznych zawartych w NOTAM;
- informowania o lotach BSP innych pilotów BSP.

Aplikacja zapewnia także informację o możliwości wykonania lotu BSP przy zastosowaniu prostego komunikatora bazującego na czterech ikonach (rys. 1).

**Rys. 1. Ikony wskazujące na możliwość wykonania lotu BSP lub jego zakaz w aplikacji DroneTower**

Źródło: https://www.pansa.pl/dronetower [dostęp: 30.08.2025].

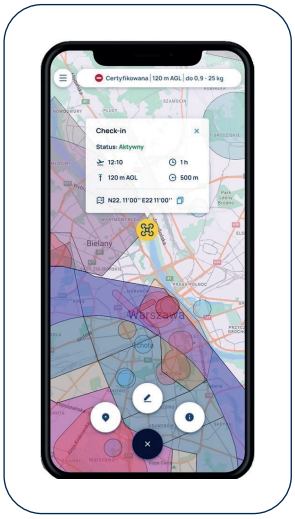
Poprawne funkcjonowanie aplikacji wymaga rejestracji użytkownika w systemie PansaUTM[16], dostępu do Internetu oraz podania mobilnego numeru telefonu, który użytkownik będzie miał przy sobie podczas wykonywania operacji. Stały dostęp do Internetu jest niezbędny, by zapewnić dwukierunkową niewerbalną łączność pomiędzy pilotem BSP a służbami ruchu lotniczego. Na rysunku 2 zaprezentowano przykładowy interfejs aplikacji zawierający informacje o wykonanym check-in (zgłoszonym zamiarze

[14] https://dronemap.pansa.pl.

[15] https://www.pansa.pl/dronetower [dostęp: 30.08.2025].

[16] https://utm.pansa.pl.

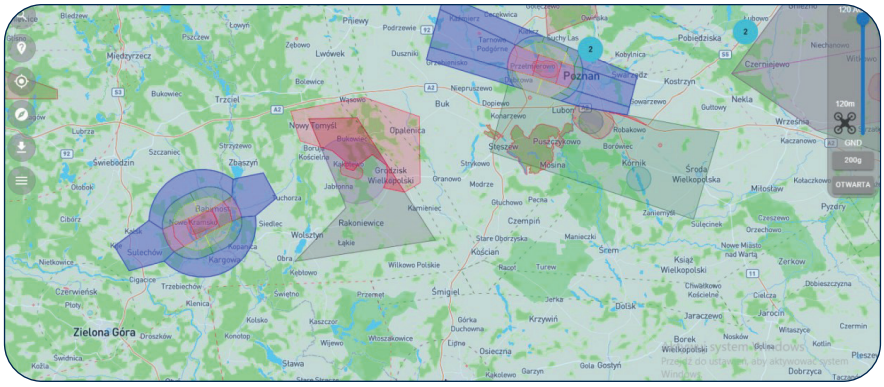
wykonania lotu) oraz zobrazowanie stref geograficznych. Szczegółowe dane dotyczące wykorzystania aplikacji zawarte są w podręczniku użytkownika udostępnionym przez PAŻP na stronie internetowej Agencji.




**Rys. 2. Interfejs aplikacji DroneTower**

Źródło: https://www.pansa.pl/dronetower [dostęp: 30.08.2025].

Drugim narzędziem, które należy omówić, jest serwis internetowy DroneMap, będący wirtualną mapą obrazującą zajętość przestrzeni powietrznej dla BSP w sposób analogiczny do aplikacji DroneTower (rys. 3). Jest to przystępne narzędzie pozwalające uzyskać informacje zarówno o wykonywanych lotach, jak i aktywnych strefach geograficznych dla SBSP.




**Rys. 3. Fragment zobrazowania polskiej przestrzeni powietrznej w serwisie DroneMap**

Źródło: https://www.pansa.pl/dronetower [dostęp: 30.08.2025].

Interesującym rozwiązaniem, które PAŻP oferuje użytkownikom, jest Centrum Pomocy PANSA Drony. Serwis ten został podzielony na następujące kategorie tematyczne[17]:

- informacje ogólne;
- strefy geograficzne;
- DroneTower, złożenie planu lotu (misji);
- KSID, DTM;
- e-SORA;
- DSS, Search and Help;
- CoTuLata;
- Filmy instruktażowe KSID, DroneTower;
- Kontakt – Dział Koordynacji Operacji BSP.

W każdej kategorii zawarto przykładowe pytania z odpowiedziami, dzięki czemu użytkownicy uzyskali kompendium wiedzy zaprezentowane w czytelny, zwięzły sposób. Ponadto Centrum Pomocy PANSA Drony daje możliwość wyszukiwania informacji poprzez wpisanie pożądanego hasła (rys. 4).

**Rys. 4. Wyszukiwanie informacji po haśle w Centrum Pomocy PANSA Drony**

Źródło: https://pansa.atlassian.net/servicedesk/customer/portals [dostęp: 30.08.2025].

Każde z omówionych narzędzi, które PAŻP oferuje pilotom/operatorom BSP, daje możliwość szybkiego uzyskania precyzyjnych informacji odnoszących się do zajętości przestrzeni powietrznej, przepisów czy zasad lotu. Należy jednak zaznaczyć, że autor przybliżył jedynie wybrane rozwiązania oferowane przez PAŻP.

[17] https://pansa.atlassian.net/servicedesk/customer/portals [dostęp: 30.08.2025].

## Podsumowanie

Rozważania zawarte w artykule zawierają syntetyczną charakterystykę zasadniczych uwarunkowań prawnych na podstawie Ustawy Prawo lotnicze oraz technicznych narzędzi dedykowanych przez PAŻP pilotom/operatorom BSP. Oczywiście autor dokonał omówienia jedynie wybranych aspektów i narzędzi. Z całą pewnością należy zauważyć, że środowisko ruchu bezzałogowego dynamicznie się rozwija, czemu powinna towarzyszyć ewolucja prawa lotniczego. Warto dodać, że bezpieczeństwo ruchu bezzałogowego w polskiej przestrzeni powietrznej w znacznym stopniu zapewniane jest przez PAŻP, m.in. poprzez koordynację operacji BSP i wytwarzanie dedykowanych narzędzi na użytkowników BSP.

Przeprowadzony proces badawczy pozwolił określić dodatkowe obszary wymagające rozważań:

- skala rozwoju ruchu bezzałogowego w polskiej przestrzeni powietrznej na przestrzeni kilku ostatnich lat;
- wpływ wprowadzonych kar pieniężnych za łamanie przepisów ruchu bezzałogowego na ilość zgłaszanych operacji BSP;
- bariery i ograniczenia stawiane przez przepisy dla użytkowników BSP oraz wizja dalszych nowelizacji prawa lotniczego w opinii użytkowników BSP i nadzoru lotniczego.

Dzięki zastosowaniu zasadniczych metod badawczych, tj. analiza, synteza, wnioskowanie, uogólnienie, kwerenda literatury, udzielono odpowiedzi na postawiony problem badawczy: Jakie są zasadnicze uwarunkowania prawne oraz techniczne narzędzia warunkujące i wspierające pilotów/operatorów przy wykonaniu lotów BSP? Tym samym osiągnięto założony cel artykułu.

## Bibliografia

https://dronemap.pansa.pl.

https://pansa.atlassian.net/servicedesk/customer/portals.

https://www.pansa.pl.

https://utm.pansa.pl.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego.

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych.

Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze.

Ustawa z dnia 24 stycznia 2025 r. o zmianie ustawy – Prawo lotnicze oraz niektórych innych ustaw.

**mgr inż. Jarosław Paszyn**
Polski Klub Lotniczy w Warszawie
ORCID: 0009-0006-8665-8111

# VERTIPORT – NIEZBĘDNY ELEMENT TRANSPORTU UAM/AAM W PRZESTRZENI *SMART CITY* I JEGO WPŁYW NA KAPITAŁ SPOŁECZNO-GOSPODARCZY AGLOMERACJI

## VERTIPORT – AN ESSENTIAL ELEMENT OF UAM/AAM TRANSPORT IN THE SMART CITY SPACE AND ITS IMPACT ON THE SOCIO-ECONOMIC CAPITAL OF AGGLOMERATIONS

**Streszczenie**
Artykuł prezentuje koncepcję vertiportu jako kluczowego elementu infrastruktury miejskiej umożliwiającej wdrożenie *Urban Air Mobility* (UAM) oraz *Advanced Air Mobility* (AAM) w *smart city*. Przeprowadzono analizę wpływu vertiportów na kapitał społeczno-gospodarczy aglomeracji, uwzględniając aspekty techniczne, regulacyjne oraz potencjalne konsekwencje dla mieszkańców i lokalnej gospodarki. Przedstawiono wyzwania związane z projektowaniem, wdrażaniem i eksploatacją vertiportów, a także rekomendacje dla polskich aglomeracji zainteresowanych rozwojem transportu powietrznego nowej generacji. Wyniki analizy pokazują, że vertiporty mogą istotnie przyczynić się do zrównoważonego rozwoju, poprawy mobilności miejskiej oraz zwiększenia atrakcyjności inwestycyjnej regionu.

**Słowa kluczowe:** vertiport, miejska mobilność powietrzna, zaawansowana mobilność powietrzna, inteligentne miasto, kapitał społeczno-gospodarczy, infrastruktura miejska

**Abstract**
The article presents the concept of the vertiport as a crucial element of urban infrastructure, enabling the implementation of Urban Air Mobility (UAM) and Advanced Air Mobility (AAM) in Smart City. The paper analyses the impact of vertiports on the socio-economic capital of urban agglomerations, considering technical, regulatory aspects, and potential consequences for residents and the local economy. It discusses the challenges related to the design, deployment, and operation of vertiports, offering recommendations for Polish urban areas interested in the development of next-generation air transport. The results indicate that vertiports can significantly contribute to sustainable growth, improve urban mobility, and increase the region's investment attractiveness.

**Keywords:** vertiport, Urban Air Mobility, Advanced Air Mobility, Smart City, socio-economic capital, urban infrastructure

## Wprowadzenie

Vertiport to kompleksowa infrastruktura obsługująca statki powietrzne pionowego startu i lądowania, pozwalająca uzyskać strategiczną szansę rozwojową dla aglomeracji *smart city*. Nowatorski środek transportu zwiększa jego dostępność w skali całego obszaru zurbanizowanego, redukuje zatory w komunikacji oraz kreuje nowe miejsca pracy i wzrost atrakcyjności inwestycyjnej. Celem niniejszego artykułu jest analiza roli vertiportu w przestrzeni miasta, ze szczególnym uwzględnieniem jego wpływu na kapitał społeczno-gospodarczy, bezpieczeństwo oraz potencjał innowacyjny regionu.

Współczesne miasta stoją przed coraz większymi wyzwaniami związanymi z transportem publicznym. Dynamiczny rozwój aglomeracji, rosnąca liczba mieszkańców, migracja na obrzeża i tereny podmiejskie stawiają wyzwania przed komunikacją. Koncepcja multimodalnego systemu transportu zakłada połączenie wszystkich sposobów przewozu pasażerów (autobus, tramwaj, metro, kolej miejska, taxi) w jedną uzupełniającą się całość. Słabą stroną w realizacji tych zamierzeń w wielu przypadkach jest brak możliwości zwiększenia potoków pasażerskich przy wykorzystaniu tradycyjnych środków ze względu na ograniczoną dostępność terenów pod komunikację w obszarze zabudowanym. Problem ten można rozwiązać dzięki wykorzystaniu miejskiej mobilności powietrznej, która jest niezbędnym elementem efektywnego multimodalnego systemu transportu w aglomeracjach.

Wdrożenie koncepcji *Urban Air Mobility* (UAM) oraz *Advanced Air Mobility* (AAM) pozwoli na zwiększenie możliwości transportowych, zwłaszcza w obszarach, w których tradycyjne środki komunikacji publicznej nie są możliwe do zastosowania albo są nieefektywne ekonomicznie. Kluczowym elementem umożliwiającym funkcjonowanie takich systemów są zintegrowane miejsca pionowego startu i lądowania, vertiporty.

## Koncepcja *Urban Air Mobility*

Miejska mobilność powietrzna jest nowym rozwiązaniem służącym do przewozów pasażerskich i cargo w obszarach zurbanizowanych. Zastosowanie tego środka transportu umożliwi skomunikowanie obszarów miejskich, których nie obejmuje aktualny system przewozu ze względów infrastrukturalnych lub niewielkich potoków pasażerskich. Koncepcja UAM jest niezbędnym elementem multimodalnego systemu transportu w aglomeracjach *smart city*. Założenia mają być realizowane przy wykorzystaniu zarówno załogowych, jak i bezzałogowych, docelowo w pełni autonomicznych statków powietrznych – *Electric Vertical Takeoff and Landing* (eVTOL), Electric *Hybrid Vertical Takeoff and Landing* (eHVTOL) oraz *Electric Short Vertical Takeoff and Landing* (eSTOL). Rozwiązanie zapewnia szybszy sposób przemieszczania się w obszarach zurbanizowanych,

gdzie natężenie ruchu nie pozwala na zwiększenie przepustowości przy wykorzystaniu tradycyjnych środków transportu, co jest podstawową przeszkodą w realizacji efektywnych systemów. Ważnym argumentem, poza zwiększeniem szybkości, jest również ograniczenie zanieczyszczenia środowiska dzięki wykorzystaniu zielonych technologii[1]. Przy wdrożeniu miejskiej mobilności powietrznej jako elementu multimodalnego systemu należy rozpatrzyć następujące aspekty:

- wpływ UAM na przestrzeń miejską – realizacja koncepcji UAM w aglomeracjach wymaga koordynacji działań w zakresie założeń urbanistycznych zarówno obszarów miejskich, jak i systemów komunikacji miejskiej. Lokalizacja vertiportów ma bezpośredni wpływ na plany zagospodarowania przestrzennego oraz projekty branży drogowej, które powinny uwzględniać specyfikę operacyjną UAM. Również projekty architektoniczne obiektów przewidzianych jako węzły operacyjne miejskiej mobilności powietrznej wymagają odpowiedniego dostosowania. Niezbędna jest ścisła współpraca z administracją publiczną zwłaszcza z jednostkami odpowiedzialnym za urbanistykę, architekturę i budownictwo obszaru aglomeracji i regionów przyległych[2];
- bezpieczeństwo operacji – obszary miejskie charakteryzują się wysoką gęstością zaludnienia, zróżnicowaną zabudową, występowaniem dużej liczby obiektów związanych z infrastrukturą krytyczną (linie energetyczne, sieci komunikacyjne, szpitale, szkoły, zakłady przemysłowe). W związku z przedstawionymi warunkami rozwiązanie to będzie mogło mieć wpływ na bezpieczeństwo publiczne obszarów miejskich ze względu na możliwość zwiększania się liczby wypadków komunikacyjnych, ataków terrorystycznych i cybernetycznych[3];
- aspekty społeczne i akceptacja społeczna – wdrażanie miejskiej mobilności powietrznej musi być realizowane w sposób zrównoważony, uwzględniając nie tylko innowacje techniczne i korzyści ekonomiczne, ale także potencjalne skutki społeczne oraz wyzwania dla bezpieczeństwa publicznego. Kluczowa dla sukcesu wdrożenia UAM jest współpraca władz lokalnych, operatorów i mieszkańców miast. Niezbędnym elementem jest zarówno konieczność szerokiej edukacji społecznej, jak i zaangażowanie mieszkańców w tworzenie reguł funkcjonowania UAM, czego efektem będzie akceptacja społeczna nowego elementu multimodalnego systemu transportu w *smart city*[4];

---

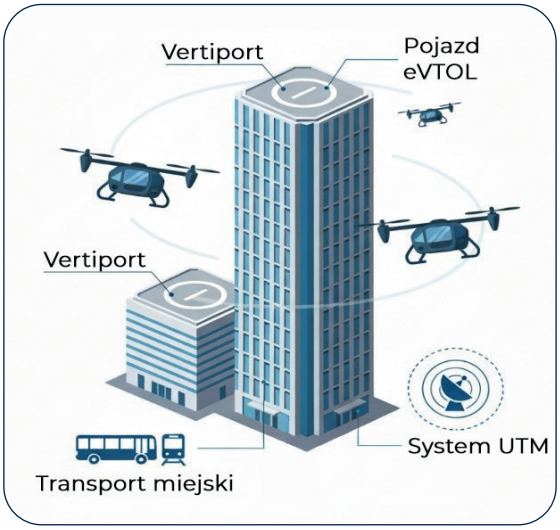
[1] Łukasiewicz Research Network, *UAM Foresight Scenarios. Knowledge Guidance*, 2022.

[2] K. Rohrmeier i in., *Decoding the Vertiport: Planning for Urban Air Mobility*, „Journal of Planning Literature" 2025, t. 41.

[3] Volocopter, *Case Study: Safe Deployment of Air Taxis in Urban Environments*, 2021.

[4] EASA, *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*, 2021.

- perspektywy ekonomiczne – wykorzystanie miejskiej mobilności powietrznej w aglomeracji ma bezpośredni wpływ na sytuację ekonomiczną. Nowa technologia wymaga pozyskania podmiotów o unikalnych kompetencjach, co wiąże się ze zwiększeniem zatrudnienia. Dzięki wdrożeniu innowacyjnego rozwiązania transportowego aglomeracja staje się atrakcyjnym miejscem inwestycji kapitałowych, co wpływa na rozwój infrastruktury[5].




**Rys. 1. Koncepcja *Urban Air Mobility* – UAM**

Źródło: opracowanie własne.

## Klasyfikacja statków powietrznych UAM i przykładowe rozwiązania

Vertiport to obszar lądu, wody lub konstrukcji wykorzystywany lub przeznaczony do wykorzystania do lądowania i startu statków powietrznych VTOL. Vertiporty są wydzielonymi obszarami, które zapewniają infrastrukturę niezbędną do bezpiecznego wykonywania operacji lotniczych statków powietrznych pionowego startu i lądowania. Zgodnie z założeniami multimodalnego systemu transportu vertiporty muszą stanowić jego element, co jest związane z bezpośrednim powiązaniem z innymi środkami transportu miejskiego[6].

[5] https://wisk.aero/wp-content/uploads/2023/10/The-Economic-Impact-of-Establishing-and-Expanding-Urban-Air-Mobility-Operations-in-Southern-California-online-version.pdf [dostęp: 19.10.2025].

[6] https://www.easa.europa.eu/pl/light/topics/vertiports-urban-environment [dostęp: 19.10.2025].

Charakterystyczne cechy vertiportu:

- lokalizacja zintegrowana z innymi środkami komunikacji publicznej aglomeracji jako elementu multimodalnego systemu transportu aglomeracji, uwzgledniająca założenia urbanistyczne obszaru zabudowy;
- Strefa startu i lądowania dla jednego lub wielu statków powietrznych eVTOL o określonych parametrach operacyjnych;
- infrastruktura do ładowania i wymiany baterii pojazdów;
- płyta postojowa o powierzchni dostosowanej do skali wykonywanych operacji lotniczych;
- obsługa pasażerów;
- elementy nawigacji i komunikacji powietrznej;
- usytuowanie na dachach biurowców, budynków mieszkalnych oraz innych obiektach użyteczności publicznej, takich jak parkingi wielopoziomowe, centra handlowe.

Vertiporty to elementy węzłów komunikacyjnych zintegrowanego systemu komunikacji miejskiej w aglomeracjach i regionach podmiejskich. Są niezbędnym elementem koncepcji miejskiej mobilności powietrznej UAM w przestrzeni zurbanizowanej. Tego typu rozwiązania wpisują się w filozofię *smart city*, podnosząc jakość i dostępność usług transportu publicznego przy zmniejszeniu poziomu zanieczyszczenia środowiska[7].

**Hyundai $SA_1$ eVTOL**
Zmienne położenie silników w zależności od fazy lotu

**Wisk (Kitty Hawk) Cora**
Niezależne silniki do startu i lotu poziomego

**Volocopter 2X**
Wielowirnikowy (multicopter)

**Rys. 2. Klasyfikacja UAM według EASA (*European Union Aviation Safety Agency*)**

Źródło: https://www.easa.europa.eu/en/what-is-uam [dostęp: 19.10.2025].

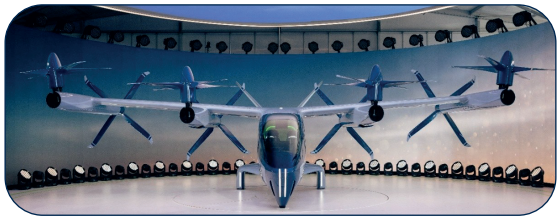
[7] https://aam-cms.marqui.tech/uploads/aam-portal-cms/originals/0bf2575a-9c-54-43b2-86a5-3910148ce6a7.pdf [dostęp: 19.10.2025].

**Fot. 1. Archer (USA)**

Źródło: https://investors.archer.com/news/news-details/2025/Archer-Begins-Test-Flights-in-Abu-Dhabi [dostęp: 19.10.2025].

**Fot. 2. Ehang 216 (Chiny)**

Źródło: https://www.ehang.com/news [dostęp: 19.10.2025].



**Fot. 3. Supernal S-A2**

Źródło: https://www.hyundai.com/worldwide/en/newsroom/detail/supernal-debuts-evtol-product-concept-at-ces-2024-0000000395 [dostęp: 19.10.2025].

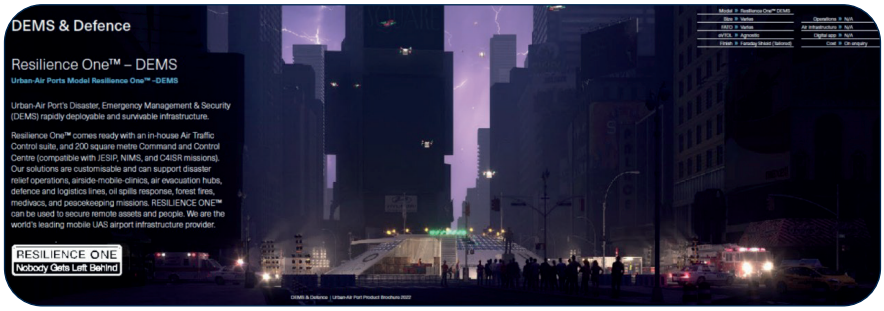
## VERTIPORT – *CASE STUDY*

Przykłady planowanych i zrealizowanych vertiportów: Zjednoczone Emiraty Arabskie (Dubaj), Wielka Brytania (Coventry Air-One), Japonia (Osaka) i inne. Prace pilotażowe dotyczą nie tylko regulacji operacji lotniczych, ale także z dostosowaniem obiektów infrastruktury UAM do obowiązujących przepisów budowlanych i zapisów projektów zagospodarowania przestrzennego. Jednym z kluczowych zadań jest również integracja z dotychczasowymi środkami transportu oraz zapewnienie akceptacji społecznej[8].

[8] NIA-NASA, *eVTOL Electrical Infrastructure Study for UAM Aircraft*, 2023.

**Rys. 3. Koncepcja – Dubaj (Zjednoczone Emiraty Arabskie)**

Źródło: https://www.timeoutdubai.com/news/vertiport-dubai [dostęp: 19.10.2025].




**Rys. 4. Koncepcja firmy Urban Air Port dla służb mundurowych**

Źródło: https://www.urbanairport.com [dostęp: 19.10.2025].

**Fot. 4. Realizacja firmy Urban Air Port w Coventry (Wielka Brytania)**

Źródło: https://www.urbanairport.com [dostęp: 19.10.2025].

Rys. 5. Koncepcja – Skydrive Osaka (Japonia)

Źródło: https://en.skydrive2020.com [dostęp: 19.10.2025].

## Projektowanie, bezpieczeństwo i zarządzanie vertiportem

Projektowanie, bezpieczeństwo i zarządzanie vertiportem to wzajemnie powiązane procesy, wymagające nowego podejścia do standardów infrastrukturalnych, operacyjnych oraz technologicznych. Kluczowe jest tu uwzględnienie przyszłych zmian w technologii eVTOL, elastyczność operacyjna oraz ścisła współpraca operatorów, regulatorów i innych interesariuszy[9].

Vertiport jest projektowany dla operacji określonych typów statków powietrznych i o określonym zakresie funkcjonalnym. Podstawowymi elementami są strefy startu i lądowania, płyty postojowe, infrastruktura obsługi pasażerów i obsługi operacji lotniczych, stacje ładowania i wymiany akumulatorów. Ze względu na zakres funkcjonalny możemy wyróżnić:

- vertihub – poza operacjami startu i lądowania zapewnia obsługę techniczną eVTOL;
- vertiport – duża intensywność operacji lotniczych, zlokalizowany w obszarach o dużej intensywności zabudowy jako element multimodalnego systemu transportu;
- vertipoint – niewielka intensywność operacji lotniczych, zlokalizowany w obszarach o niskiej intensywności zabudowy.

[9] NIA-NASA, *eVTOL...*, dz. cyt.

Skuteczne zarządzanie vertiportem wymaga integracji systemów zarządzania operacjami lotniczymi, zarządzania pozostałymi elementami multimodalnego systemu transportu, a także zarządzania kryzysowego. Realizacja tych zadań jest możliwa wyłącznie przy wysokiej automatyzacji procesów dzięki wykorzystaniu najnowszych rozwiązań teleinformatycznych, BigData czy AI[10].

## Oddziaływanie vertiportu na infrastrukturę miejską

Vertiporty wymuszają nowe podejście do planowania przestrzennego przez dodanie trzeciego wymiaru związanego z miejską mobilnością powietrzną. Nowy element transportu miejskiego, jakim jest UAM, wpływa na konieczność zmian lokalizacji poszczególnych funkcji obszarów miejskich. Efektywne wdrożenie vertiportów w planach zagospodarowania przestrzennego wymaga integracji wielu dziedzin – od transportu, przez strukturę przestrzenną i infrastrukturę, po ochronę środowiska oraz partycypacje i akceptację społeczną[11].

**Rys. 6. Projekt – Osaka (Japonia)**

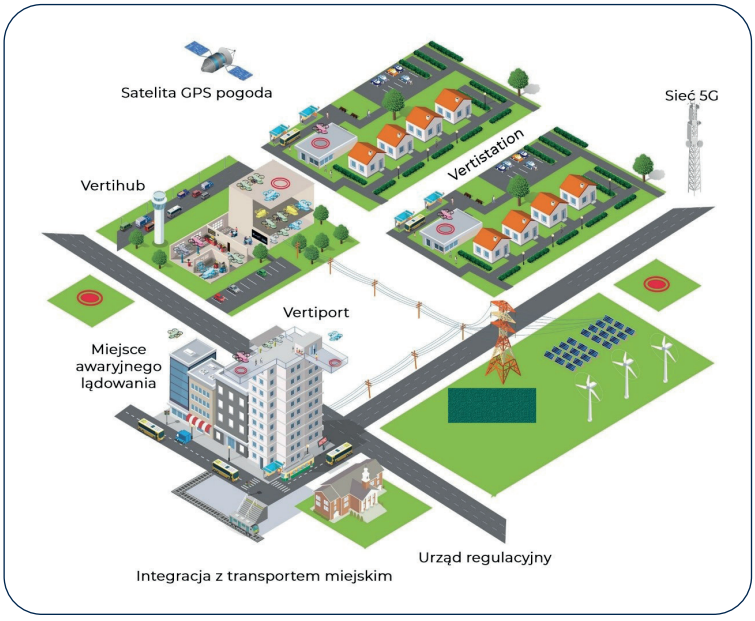
Źródło: https://en.skydrive2020.com/archives/14063 [dostęp: 19.10.2025].

[10] https://www.anratechnologies.com/home/anra-vertiport-management-system [dostęp: 19.10.2025].

[11] Deloitte Insights, *Infrastructure barriers to the elevated future of mobility*, 2022.

**Rys. 7. Projekt – Baku (Azerbejdżan)**

Źródło: T. Imanov, *Urban Air Mobility (UAM) Network. Case Study: Baku Metropolitan Area*, „International Journal of Aviation Science and Technology" 2024, t. 5, s. 67.




**Rys. 8. Wpływ lokalizacji vertiportów na infrastrukturę**

Źródło: Deloitte Insights, *Infrastructure barriers to the elevated future of mobility*, 2022.

## Regulacje i certyfikacja

Proces certyfikacji wymusza ścisłą współpracę operatorów infrastruktury, lotnictwa cywilnego oraz władz lokalnych. Największe potrzeby dotyczą funkcjonowania w obszarach miejskich, gdzie rozwiązania oparte są głównie na wytycznych opublikowanych m.in. przez EASA, FAA (*Federal Aviation Administration*, Stany Zjednoczone), CAA (*Civil Aviation Authority*, Wielka Brytania), CASA (*Civil Aviation Safety Authority*, Australia). Brak jest opracowanych i wdrożonych w szerokiej skali rozwiązań zarządzania przestrzenia powietrzną ATM (*Air Traffic Management*) / UTM (*Unmanned Traffic Management*), integrującą operacje lotnicze bezzałogowych statków powietrznych (BSP) i załogowych statków powietrznych UAM. Istnieje niezbędna konieczność opracowania nowych regulacji adekwatnych do wyzwań miejskiej mobilności powietrznej. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2024/1111 z dnia 10 kwietnia 2024 r. jest jednym z pierwszych aktów definiujących operacje lotnicze załogowych statków powietrznych eVTOL w obszarze U-Space, co ma istotny wpływ na projektowanie i realizację vertiportów[12]. W najbliższym czasie niezbędne jest opracowanie jednolitych regulacji dotyczących infrastruktury vertiportów, a także zasad ich certyfikacji. Vertiport powinien spełniać wymogi bezpieczeństwa, systemów zarządzania operacjami lotniczymi, ochrony fizycznej pasażerów i cyberbezpieczeństwa. Regulacje powinny uwzględniać przepisy dotyczące sytuacji kryzysowych w aglomeracji oraz być skoordynowane z przepisami dotyczącymi innych środków transportu, będących elementami multimodalnego systemu.

## Aspekty społeczne wdrożenia UAM

Akceptacja społeczna stanowi kluczowy warunek powodzenia wdrażania UAM. Obejmuje ona postawy, percepcję i aprobatę obywateli względem nowych technologii transportu powietrznego w miastach[13].

Z perspektywy społecznej wdrożenie UAM może przyczynić się do poprawy mobilności, zwłaszcza w aglomeracjach niemających możliwości technicznych zwiększenia przepustowości tradycyjnych środków komunikacji.

[12] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2024/1111 z dnia 10 kwietnia 2024 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 1178/2011, rozporządzenie wykonawcze (UE) nr 923/2012, rozporządzenie (UE) nr 965/2012 i rozporządzenie wykonawcze (UE) 2017/373 w odniesieniu do ustanowienia wymogów dotyczących eksploatacji załogowych statków powietrznych zdolnych do wykonywania lotów VTOL.

[13] https://www.centre-for-bold-cities.nl/projects/social-acceptance-of-urban-air-mobility [dostęp: 19.10.2025]; https://en.skydrive2020.com/archives/14063 [dostęp: 19.10.2025].

Umożliwienie szybkiego transportu powietrznego sprzyja skróceniu czasu dojazdu do pracy, ułatwia dostęp do usług publicznych, a także stymuluje rozwój gospodarczy poprzez nowe modele działalności gospodarczej np. w zakresie logistyki. Rozwój tej technologii wpłynie na powstanie nowych miejsc pracy, także w całkiem nowych specjalizacjach[14].

Negatywnym wpływem, przynajmniej w początkowym etapie rozwoju, może być ograniczony dostęp do nowatorskiego rozwiązania, przeznaczony wyłącznie dla osób o wysokim statusie ekonomicznym, co może być podstawą wykluczenia znacznej części mieszkańców z możliwości wykorzystania tego środka transportu.

Niezwykle istotnym aspektem jest wpływ UAM na bezpieczeństwo publiczne. Nowe regulacje muszą mieć bezpośredni wpływ na zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa mieszkańców. Negatywnym skutkiem społecznym może być wzrost liczby wypadków komunikacyjnych, wykorzystanie mobilności powietrznej do działalności przestępczej, szpiegostwa czy ataków terrorystycznych na infrastrukturę krytyczną.

Równocześnie statki powietrzne wykorzystywane w operacjach UAM mogą mieć pozytywny wpływ na bezpieczeństwo publiczne, wspierając służby mundurowe zarówno w codziennej działalności, jak i w sytuacjach kryzysowych. Możliwość wykorzystania operacji lotniczych UAM w monitorowaniu obszarów miejskich pozwoli na zmniejszenie liczby innych środków (BSP, kamery miejskie), co zmniejszy koszty działalności organów bezpieczeństwa publicznego.

Uzupełnienie multimodalnego systemu transportu w aglomeracjach przez mobilność powietrzną wpłynie również na jakość życia przez zmniejszenie emisji zanieczyszczeń.

Wdrażanie miejskiej mobilności powietrznej musi być realizowane w sposób zrównoważony, uwzględniając nie tylko innowacje techniczne i korzyści ekonomiczne, ale także potencjalne skutki społeczne oraz wyzwania dla bezpieczeństwa publicznego. Kluczowa dla sukcesu wdrożenia UAM jest współpraca władz lokalnych, operatorów i mieszkańców miast. Niezbędnym elementem jest zarówno konieczność szerokiej edukacji społecznej, jak i zaangażowanie mieszkańców w tworzenie reguł funkcjonowania UAM[15].

---

[14] D. Bogusz, J. Skóra, *Edukacja lotnicza i lotniskowa w Polsce*, „Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego" 2022, R. XVI; https://en.skydrive2020.com/archives/14063 [dostęp: 19.10.2025].

[15] EASA, *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*, 2021.

## Kapitał społeczno-gospodarczy a intermodalny system transportu w aglomeracjach *smart city*

Wdrażanie innowacyjnych rozwiązań transportowych, takich jak UAM/AAM, silnie oddziałuje na kapitał społeczno-gospodarczy regionu. Rozumiany szeroko kapitał obejmuje nie tylko potencjał finansowy i infrastrukturalny, lecz także kompetencje mieszkańców, poziom zaufania społecznego oraz otwartość na innowacje. Rozwój vertiportów może wzmocnić lokalną gospodarkę poprzez:

- tworzenie nowych miejsc pracy w sektorach High Tech;
- wspieranie rozwoju przedsiębiorczości technologicznej;
- zainteresowanie nowych inwestorów;
- wzrost atrakcyjności turystycznej i biznesowej regionu.

Ważnym aspektem jest także budowanie zaufania społecznego dla lotniczego transportu miejskiego, co wymaga odpowiedniej komunikacji i edukacji. Na podstawie badań ankietowych akceptacja społeczna dla UAM rośnie wraz ze wzrostem poziomu wiedzy o bezpieczeństwie i potencjalnych korzyściach[16].

Miejska mobilność powietrzna UAM kreuje nowy wymiar funkcjonowania miast. Wdrożenie tej technologii to nie tylko wprowadzenie nowego rodzaju transportu, ale kompleksowa transformacja funkcji miejskich – zarówno w wymiarze gospodarczym, jak i społecznym[17].

**Tabela 1. Potencjał gospodarczy wdrożenia UAM**

| Obszar wpływu | Efekt gospodarczy |
|---|---|
| Nowe miejsca pracy | Popyt na specjalistów IT, operatorów technicznych, zarządców |
| Stymulacja inwestycji | Przyciąganie kapitału do regionów |
| Rozwój lokalnych firm | Pobudzanie przedsiębiorczości, wsparcie innowacji |
| Integracja z gospodarką cyfrową | Tworzenie ekosystemów *smart city*, wykorzystanie IoT, 5G |
| Zrównoważona energia i infrastruktura | Rozwój odnawialnych źródeł energii i systemów zarządzania |

Źródło: opracowanie własne.

[16] https://www.centre-for-bold-cities.nl/projects/social-acceptance-of-urban-air-mobility [dostęp: 19.10.2025]; https://en.skydrive2020.com/archives/14063 [dostęp: 19.10.2025].

[17] https://interreg-baltic.eu/wp-content/uploads/2024/01/D1.2-Social-acceptance-of-urban-air-mobility_-state-of-the-art-baseline-and-survey-development.pdf [dostęp: 19.10.2025].

Wprowadzenie do multimodalnego systemu transportu miejskiej mobilności będzie miało wpływ na rozwój sektora technologicznego integrującego operacje lotnicze z cyfrowymi systemami zarządzania aglomeracji (Big Data, IoT, AI), oferując dodatkowe usługi[18].

Niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa i odpowiedniej przepustowości potoków pasażerskich nowatorskie rozwiązania cyfrowe wpłyną na zwiększenie automatyzacji procesów i rozwój kompetencji cyfrowych wśród mieszkańców aglomeracji[19].

Konieczność wybudowania vertiportów spowoduje wzrost wartości nieruchomości w planowanych lokalizacjach. Niezbędne będą również inwestycje w infrastrukturę integrującą usługi miejskiej mobilności powietrznej z pozostałymi elementami.

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii podniesie innowacyjność lokalnego otoczenia gospodarczego.

**Tabela 2. Analiza SWOT uruchomienia vertiportu w aglomeracji**

| Mocne strony | Słabe strony | Szanse | Zagrożenia |
|---|---|---|---|
| Innowacyjność | Wysoki koszt wdrożenia | Przyciąganie inwestorów | Sprzeciw społeczny |
| Efektywność mobilności | Ograniczenia przestrzenne | Rozwój nowych technologii | Problemy z integracją |
| Prestiż miasta | Niewielka wiedza społeczna | Tworzenie nowych miejsc pracy | Bariery regulacyjne |

Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie i wnioski

Vertiporty stanowią kluczowy element przyszłej infrastruktury miejskiej, umożliwiając wdrożenie koncepcji UAM i AAM. Ich wpływ na kapitał społeczno-gospodarczy aglomeracji jest znaczący: mogą wspierać rozwój innowacji, przyciągać inwestorów, tworzyć nowe miejsca pracy i poprawiać mobilność. Jednocześnie wdrożenie tego typu infrastruktury wymaga spełnienia rygorystycznych norm bezpieczeństwa, ścisłej współpracy międzysektorowej oraz szeroko zakrojonej edukacji i dialogu społecznego.

Wdrażanie miejskiej mobilności powietrznej UAM, którego niezbędnym elementem jest struktura lotniskowa vertiport, powinno przebiegać etapowo, zaczynając od pilotażowych obiektów w największych aglomeracjach przy równoległej aktualizacji przepisów i dialogu z mieszkańcami.

[18] Roland Berger, *Urban Air Mobility: The rise of a new mode of transportation*, 2021.

[19] Łukasiewicz Research Network, *UAM Foresight...*, dz. cyt.

## Bibliografia

Bogusz D., Skóra J., *Edukacja lotnicza i lotniskowa w Polsce*, „Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego" 2022, R. XVI.

Deloitte Insights, *Infrastructure barriers to the elevated future of mobility*, 2022.

https://aam-cms.marqui.tech.

https://en.skydrive2020.com.

https://interreg-baltic.eu.

https://investors.archer.com.

https://wisk.aero.

https://www.anratechnologies.com.

https://www.centre-for-bold-cities.nl.

https://www.easa.europa.eu.

https://www.ehang.com.

https://www.hyundai.com.

https://www.timeoutdubai.com.

https://www.urbanairport.com.

Imanov T., *Urban Air Mobility (UAM) Network. Case Study: Baku Metropolitan Area*, „International Journal of Aviation Science and Technology" 2024, t. 5.

Łukasiewicz Research Network, *UAM Foresight Scenarios. Knowledge Guidance*, 2022.

NIA-NASA, *eVTOL Electrical Infrastructure Study for UAM Aircraft*, 2023.

Rohrmeier K. i in., *Decoding the Vertiport: Planning for Urban Air Mobility*, „Journal of Planning Literature" 2025, t. 41.

Roland Berger, *Urban Air Mobility: The rise of a new mode of transportation*, 2021.

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2024/1111 z dnia 10 kwietnia 2024 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 1178/2011, rozporządzenie wykonawcze (UE) nr 923/2012, rozporządzenie (UE) nr 965/2012 i rozporządzenie wykonawcze (UE) 2017/373 w odniesieniu do ustanowienia wymogów dotyczących eksploatacji załogowych statków powietrznych zdolnych do wykonywania lotów VTOL.

Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze.

Volocopter, *Case Study: Safe Deployment of Air Taxis in Urban Environments*, 2021.

**mgr inż. Karol Rogożyński**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0009-0007-1210-6987

# Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w inspekcji pola manewrowego lotniska i drogi startowej – możliwości, wyzwania i perspektywy rozwoju

## The use of unmanned aerial vehicles in inspecting airport maneuvering areas and runways – opportunities, challenges, and prospects for development

**Streszczenie**
Artykuł omawia możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w procesie inspekcji pola manewrowego i dróg startowych lotnisk, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów technicznych, organizacyjnych oraz regulacyjnych. Przedstawiono aktualny stan technologii, rodzaje platform, stosowane sensory oraz systemy łączności i nawigacji umożliwiające prowadzenie precyzyjnych misji inspekcyjnych w środowisku o wysokich wymaganiach bezpieczeństwa. Wskazano na potencjalne zastosowania BSP, takie jak wykrywanie obcych obiektów (FOD), ocena stanu nawierzchni, kontrola oznakowania i oświetlenia oraz doraźne inspekcje po incydentach lotniczych. W dalszej części opracowania przeanalizowano kwestie integracji systemów bezzałogowych z infrastrukturą i systemami zarządzania bezpieczeństwem lotnisk, a także wyzwania związane z bezpieczeństwem operacyjnym, regulacjami prawnymi, warunkami atmosferycznymi i cyberbezpieczeństwem. Artykuł przedstawia także przykłady międzynarodowych wdrożeń technologii BSP na lotniskach oraz analizę perspektyw ich rozwoju, w tym autonomizacji, wykorzystania sieci 5G, integracji z koncepcją inteligentnego lotniska oraz rozwój koncepcji U-Space w ramach EASA i PAŻP. Wyniki analizy wskazują, że wdrożenie BSP do inspekcji pola manewrowego może znacząco zwiększyć efektywność i bezpieczeństwo operacji lotniskowych, redukując czas trwania inspekcji oraz ograniczając konieczność zamykania infrastruktury. W perspektywie kilku lat technologia ta ma szansę stać się integralnym elementem cyfrowego zarządzania bezpieczeństwem w nowoczesnych portach lotniczych.

**Słowa kluczowe:** lotnictwo, bezpieczeństwo, bezzałogowe statki powietrzne, pole ruchu naziemnego, inspekcja pola ruchu naziemnego

**Abstract**
The article discusses the possibilities of using unmanned aerial vehicles in the inspection of airport runways and taxiways, with particular emphasis on technical, organizational, and regulatory aspects. It presents the current state of technology, types of platforms, sensors, and communication and navigation systems used to conduct precise inspection missions in environments with high safety requirements. Potential applications of UAVs are indicated, such as foreign object detection (FOD), surface condition assessment, marking and lighting inspection, and ad hoc inspections after aviation incidents. The rest of the study analyzes the integration of unmanned systems with airport infrastructure and safety management systems, as well as challenges related to operational safety, legal regulations, weather conditions, and cybersecurity. The article also presents examples of international implementations of UAS technology at airports and an analysis of their development prospects, including automation, the use of 5G networks, integration with the smart airport concept, and the development of the U-Space concept within EASA and PAŻP. The results of the analysis indicate that the implementation of UAVs for apron inspection can significantly increase the efficiency and safety of airport operations by reducing inspection times and limiting the need to close infrastructure. Within a few years, this technology has the potential to become an integral part of digital safety management at modern airports.

**Keywords:** aviation, safety, unmanned aerial vehicles, ground movement area, ground movement area inspection

## Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się zdecydowany rozwój technologii związanych z bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP), co pozwala na ich zastosowanie w wielu nowych dziedzinach, gdzie są w stanie wesprzeć działania człowieka, poprawiając efektywność i bezpieczeństwo. Nic dziwnego zatem, że potencjalnych zastosowań BSP szuka się również w lotnictwie. Nieprzerwanie dla lotnictwa najważniejszą kwestią staje się zapewnienie bezpieczeństwa operacji lotniczych. Zależy ono od wielu kwestii, z których, dla zarządzających lotniskami, do najważniejszych należą właściwe utrzymanie i monitorowanie stanu pola ruchu naziemnego lotniska, składającego się z pola manewrowego (drogi startowe i drogi kołowania) oraz płyt postojowych[1]. Zgodnie z zaleceniami ICAO – wyrażonymi w Załączniku 14 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, znanym też jako konwencja chicagowska, poświęconym lotniskom wraz ze stosownymi dokumentami

[1] Zob. także J. Skóra, *Perspektywy rozwoju polskiego sektora lotniczego*, [w:] *Porty lotnicze i morskie*, red. D. Bogusz, LAW, Dęblin 2023, s. 64.

oraz przepisami EASA – regularne inspekcje mają na celu minimalizację zagrożeń dla statków powietrznych oraz stworzenia warunków do wykonywania bezpiecznych i skutecznych operacji. Pozwalają one na wykrycie wszelkich zagrożeń, takich jak obecność obcych obiektów (FOD), uszkodzeń nawierzchni czy też nieprawidłowej pracy systemów oświetlenia lotniska.

Zgodnie z zapisami dokumentu ICAO Doc 9981 inspekcje pola ruchu naziemnego mają zapewnić, że warunki w polu ruchu naziemnego i stan związanego z nim wyposażenia są odpowiednie do zamierzonego zastosowania operacyjnego. Ponadto pozwalają na identyfikację usterek i potencjalnych zagrożeń dla bezpieczeństwa statków powietrznych lub operacji lotniskowych oraz służą do prowadzenia okresowych, terminowych i dokładnych aktualizacji informacji dotyczących warunków w polu ruchu naziemnego. Przykładowo, kod warunków na drodze startowej, określony zgodnie z matrycą RCAM (*Runway Condition Assessment Matrix*) oraz stan operacyjny obiektów związanych z polem ruchu naziemnego, które mają być zgłaszane służbom ruchu lotniczego, służbom informacji lotniczej oraz dla potrzeb operacji lotniskowych[2].

W pierwszej kolejności inspekcje dzieli się na dwa rodzaje – planowane i nieplanowane. Te pierwsze dzielą się z kolei na inspekcje poziomu 1 („codzienne"), zapewniające przegląd ogólnych warunków w polu ruchu naziemnego i związanych z nim urządzeń oraz inspekcje poziomu 2 („regularne"), będące częścią profilaktycznej obsługi lotniska i polegające na bardziej szczegółowej weryfikacji warunków w polu ruchu naziemnego i stanu związanych z nim urządzeń. Inspekcje nieplanowane występują w sytuacjach takich jak zgłoszony incydent (np. nieautoryzowany wlot BSP do przestrzeni i jego potencjalny upadek), zgłoszenie przez pilota lub służby ruchu lotniczego (np. zderzenie z ptakiem), niekorzystne warunki meteorologiczne (faza przygotowania do wprowadzenia LVP), sprawdzenie po zakończeniu pewnego rodzaju prac prowadzonych w polu ruchu naziemnego lub po prostu jako element reagowania w sytuacji kryzysowej.

Inspekcje prowadzone są zazwyczaj z wykorzystaniem pojazdów bądź pieszo. Z uwagi na skuteczność inspekcji zaleca się, żeby inspekcje poziomu 1, jeżeli są do ich prowadzenia wykorzystywane pojazdy, były realizowane z możliwie jak najmniejszą prędkością pojazdu. Z kolei inspekcje poziomu 2 powinny być wykonywane pieszo, tak aby zapewnić bardziej wszechstronną ocenę w ramach prewencyjnej obsługi technicznej, będącej jedną z proaktywnych metod analizy ryzyka, co z kolei ma bezpośredni wpływ na kulturę bezpieczeństwa w organizacji, przekładając się również na bezpieczeństwo prowadzonych operacji lotniczych.

[2] Dokument Doc 9981 – Lotniska.

W tabeli 1 przedstawiono matrycę oceny nawierzchni drogi startowej. Obowiązuje ona od 2021 r., wcześniej mierzono współczynniki hamowania. Brak konieczności mierzenia współczynników stanowi kolejny element otwierający możliwość zastosowania BSP do prowadzenia inspekcji pola ruchu naziemnego.

**Tabela 1. Matryca oceny warunków na drodze startowej – RCAM**

| Kod warunków na drodze startowej | Opis stanu nawierzchni | Hamowanie samolotu lub ocena sterowności kierunkowej | Ocena hamowania dokonana przez pilota |
|---|---|---|---|
| 6 | DRY – sucha | – | – |
| 5 | FROST – szron<br>WET – mokra<br>Jeśli głębokość wynosi 3 mm lub mniej:<br>SLUSH – mieszanina deszczu i śniegu<br>DRY SNOW – suchy śnieg<br>WET SNOW – mokry śnieg | Hamowanie jest proporcjonalne do ilości zastosowanej siły i sterowność kierunkowa jest normalna | GOOD – dobre |
| 4 | Jeśli temperatura wynosi –15°C lub mniej:<br>COMPACTED SNOW – ubity śnieg | Hamowanie lub sterowność kierunkowa jest w zakresie pomiędzy dobrym a średnim | GOOD TO MEDIUM – dobre do średniego |
| 3 | SLIPPERY WET – mokra, śliska<br>Jeśli występuje na ubitym śniegu:<br>DRY SNOW – suchy śnieg<br>WET SNOW – mokry śnieg<br>Jeśli głębokość wynosi powyżej 3 mm:<br>DRY SNOW – suchy śnieg<br>WET SNOW – mokry śnieg<br>Jeśli temperatura wynosi powyżej –15°C:<br>COMPACTED SNOW – ubity śnieg | Hamowanie jest zredukowane w zauważalny sposób względem zastosowanej siły hamowania lub sterowność kierunkowa jest zredukowana w zauważalny sposób | MEDIUM – średnie |
| 2 | Jeśli głębokość wynosi powyżej 3 mm:<br>STANDING WATER – kałuże<br>SLUSH – mieszanina deszczu i śniegu | Hamowanie lub sterowność kierunkowa jest w zakresie pomiędzy średnim a słabym | MEDIUM TO POOR – średnie do słabego |
| 1 | ICE – lód | Hamowanie jest znacząco zredukowane względem zastosowanej siły hamowania lub sterowność kierunkowa jest znacząco zredukowana | POOR – słabe |
| 0 | WET ICE – mokry lód<br>WATER ON TOP OF COMPACTED SNOW – woda na ubitym śniegu<br>Jeśli występują na lodzie:<br>DRY SNOW – suchy śnieg<br>WET SNOW – mokry śnieg | Hamowanie jest minimalne lub brak jest hamowania dla zastosowanej siły hamowania lub sterowność kierunkowa jest niepewna | LESS THAN POOR – gorzej niż słabe |

Źródło: opracowanie własne.

Niemniej jednak, metody prowadzenia inspekcji, chociaż skuteczne, wiążą się z określonymi ograniczeniami, m.in. koniecznością czasowego zamykania pola manewrowego, ograniczoną dokładnością obserwacji w warunkach nocnych czy trudnych warunkach atmosferycznych (w szczególności przy wprowadzeniu LVP lub fazy przygotowania do LVP), a także wysokim nakładem pracy personelu.

Rozwój technologii BSP stwarza tu nowe możliwości w zakresie automatyzacji i usprawnienia procesu inspekcji. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych sensorów optycznych, termowizyjnych czy lidarowych BSP są w stanie dostarczać szczegółowych danych o stanie infrastruktury lotniskowej w czasie rzeczywistym. Prawdopodobne jest również połączenie uzyskanych w ten sposób danych z algorytmami sztucznej inteligencji, analizującymi obraz w sposób automatyczny. Ponadto możliwe jest znaczące skrócenie czasu reakcji na wykryte zagrożenia oraz podniesienie ogólnego poziomu bezpieczeństwa operacji lotniczych.

## Charakterystyka BSP pod kątem wykorzystania w zakresie prowadzenia inspekcji

Technologia BSP w środowisku lotniskowym rozwija się dynamicznie, obejmując zarówno konstrukcje o małej masie i wysokiej manewrowości, jak i zaawansowane systemy długotrwałego lotu zdolne do pracy w trybie autonomicznym. W kontekście inspekcji pola manewrowego kluczowe znaczenie ma nie tylko sama platforma lotnicza, ale także zestaw sensorów, system łączności, oprogramowanie analityczne i rozwiązania zapewniające bezpieczeństwo operacji. W praktyce operacyjnej system BSP traktowany jest jako zintegrowany moduł pomiarowy, zdolny do zbierania, przetwarzania i przekazywania danych wizualnych i pomiarowych w czasie rzeczywistym do systemów zarządzania lotniskiem.

### Typy platform

W zastosowaniach inspekcyjnych na lotniskach można wykorzystać różnorodne typy BSP, dobierane w zależności od charakteru misji, obszaru działania oraz wymagań operacyjnych.

Do najczęściej stosowanych konstrukcji należą multikoptery (wielowirnikowce). Ich główną zaletą jest zdolność do zawisu i precyzyjnego pozycjonowania nad badanym obszarem. Dzięki stabilności w locie możliwe jest wykonywanie wysokiej jakości zdjęć i filmów z niewielkiej wysokości, co pozwala na szczegółową ocenę stanu nawierzchni lub oznakowania. Zasięg i czas lotu są jednak ograniczone (20–40 min), co wymaga częstej wymiany baterii lub zastosowania systemu automatycznego ładowania.

Innym rozwiązaniem mogą być platformy VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*) łączące cechy wielowirnikowców i płatowców. Startują i lądują pionowo, ale w locie poziomym wykorzystują skrzydła, co pozwala im pokonywać znaczne odległości przy niskim zużyciu energii. Ich czas lotu może sięgać 1–2 godz., a prędkość przelotowa 70–120 km/h. Są idealne do inspekcji całych dróg startowych lub rozległych pól manewrowych.

Do samej inspekcji raczej nie zastosuje się samolotów bezzałogowych, ponieważ wymagają one zdecydowanie innej infrastruktury. Niemniej jednak, mogą być użyte w innych operacyjnych celach, takich jak inspekcja świateł podejścia lub wykonanie zdjęć fotogrametrycznych do opracowania ortofotomapy lotniska.

Dobór platformy zależy od celu inspekcji – drobne uszkodzenia nawierzchni czy FOD lepiej wykrywają wielowirnikowce, natomiast szybkie przeglądy dużych powierzchni efektywniej realizują platformy VTOL.

## Wyposażenie BSP pod kątem zastosowania sensorów oraz systemów łączności

O skuteczności BSP decyduje jakość i różnorodność zamontowanych sensorów. W środowisku lotniskowym kluczowe znaczenie mają systemy wizyjne, które umożliwiają analizę w zakresie widzialnym, podczerwieni i światła strukturalnego.

Zdecydowanie najważniejszy element wyposażenia stanowić będą kamery o wysokiej rozdzielczości. Rejestrują obraz w jakości umożliwiającej wykrycie pęknięć, zabrudzeń, FOD i innych nieprawidłowości. W połączeniu z technologią stabilizacji obrazu oraz automatycznym śledzeniem trajektorii BSP uzyskuje się dane porównywalne z wynikami klasycznych inspekcji wizualnych. Innym typem kamer możliwych do zastosowania byłyby kamery termowizyjne pozwalające na wykrycie różnic temperatur na powierzchni pasa startowego i infrastruktury. Wykorzystywane są do identyfikacji przegrzewających się elementów oświetlenia, nieszczelności systemów elektrycznych oraz lokalnych odkształceń struktury nawierzchni, powstałych na przykład w wyniku erozji wodnej. Można również zastosować kamery multispektralne, analizujące odbite światło w szerokim zakresie widmowym, co pozwala ocenić właściwości chemiczne nawierzchni i materiałów oznakowania. Dzięki temu możliwe staje się monitorowanie degradacji farb lub zmian w strukturze nawierzchni.

Jednym z istotniejszych elementów, jaki można zaproponować na wyposażenie BSP wykorzystywanych w tego typu inspekcji to LiDAR. Generuje on trójwymiarowe modele powierzchni z dokładnością do centymetrów. Stosowany do pomiarów równości, profilu podłużnego i poprzecznego pasa oraz do oceny ubytków i deformacji. W połączeniu z danymi

fotogrametrycznymi umożliwia pełną rekonstrukcję geometrii pola manewrowego. Konieczne byłoby również zastosowanie zapewniających pozycjonowanie z dokładnością do centymetrów, co jest niezbędne dla precyzyjnego odwzorowania danych w systemach GIS oraz porównywania wyników kolejnych inspekcji czujników GNSS wykorzystujących metodę pozycjonowania RTK (*Real Time Kinematic*).

Bezpieczne prowadzenie operacji BSP na lotnisku wymaga niezawodnej komunikacji pomiędzy dronem, operatorem a systemem zarządzania ruchem. Najczęściej stosowane są połączenia w paśmie 2,4 GHz lub 5,8 GHz, jednak w środowisku profesjonalnym coraz częściej wykorzystuje się sieci LTE/5G, umożliwiające przesył obrazu w czasie rzeczywistym i zdalne sterowanie z centrum kontroli.

Systemy pozycjonowania GNSS wspierane technologią RTK lub PPK (*Post Processed Kinematic*) zapewniają precyzję niezbędną do porównywania kolejnych nalotów na tej samej trasie. W nowoczesnych rozwiązaniach stosuje się także systemy *geofencing* oraz ADS-B In/Out, pozwalające na integrację BSP z przestrzenią powietrzną kontrolowaną.

W praktyce oznacza to, że drony mogą być monitorowane przez kontrolerów ruchu lotniczego w sposób podobny do załogowych statków powietrznych. Integracja z systemami ADS-B pozwala również na unikanie kolizji poprzez automatyczne ostrzeganie operatora o zbliżającym się ruchu w przestrzeni.

W ramach projektów pilotażowych w Europie i Azji testowane są rozwiązania oparte na UTM (*Unmanned Traffic Management*), które umożliwiają cyfrowe planowanie lotów, autoryzację w czasie rzeczywistym i przekazywanie informacji o położeniu BSP do służb żeglugi powietrznej. Takie podejście zwiększa transparentność operacji i pozwala uniknąć potencjalnych konfliktów w ruchu. W Polsce wdrożony został opracowany przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej (PAŻP) system PANSA UTM, który jest rozwijany i zyskuje nowe funkcjonalności.

Stosowanie wielowarstwowych systemów komunikacji (radiowej, sieciowej i satelitarnej) oraz redundancji łącza staje się standardem w operacjach o znaczeniu krytycznym, takich jak inspekcje infrastruktury lotniskowej. Dzięki temu zapewniona jest ciągłość przesyłu danych, a ewentualna utrata sygnału radiowego nie powoduje utraty kontroli nad platformą.

Niemniej jednak, nade wszystko istotne jest bezpieczeństwo operacji. Ze względu na charakter środowiska lotniskowego operacje BSP muszą spełniać szczególne wymagania w zakresie bezpieczeństwa. Loty realizowane są zwykle w trybie VLOS (*Visual Line of Sight*) lub, po uzyskaniu odpowiednich zezwoleń od krajowego urzędu lotnictwa cywilnego (w Polsce – Urząd Lotnictwa Cywilnego), w trybie BVLOS (*Beyond Visual Line of Sight*).

Przed każdą misją konieczna jest analiza ryzyka, zgodna z metodyką SORA (*Specific Operations Risk Assessment*) opracowaną przez EASA, obejmująca m.in. identyfikację zagrożeń, ocenę prawdopodobieństwa incydentu oraz działania ograniczające ryzyko.

Nowoczesne BSP wyposażone są w systemy awaryjnego lądowania, spadochrony ratunkowe, sensory antykolizyjne i funkcje automatycznego powrotu do punktu startu w przypadku utraty łączności. Dodatkowo stosuje się *geofencing*, który uniemożliwia wlot w strefy zakazane, takie jak przestrzeń nad pasem startowym podczas aktywnych operacji lotniczych.

## Potencjalne zastosowania BSP w inspekcji pola manewrowego

Rozwój technologii umożliwia coraz szersze zastosowanie BSP w działalności operacyjnej lotnisk. Dzięki możliwości prowadzenia obserwacji z powietrza, integracji z systemami pomiarowymi i analitycznymi oraz pracy w trybie autonomicznym BSP stają się efektywnym narzędziem wspierającym zarządzanie bezpieczeństwem infrastruktury lotniskowej. W kontekście pola manewrowego ich potencjał obejmuje szereg zastosowań, które można pogrupować według rodzaju monitorowanych parametrów: wykrywanie obcych obiektów, ocena stanu nawierzchni, kontrola oznakowania i oświetlenia, monitorowanie w warunkach ograniczonej widzialności oraz szybka ocena po incydentach.

### Wykrywanie FOD

Wykrywanie obcych obiektów na drodze startowej, drodze kołowania i placach postojowych jest jednym z najważniejszych zadań w zakresie utrzymania bezpieczeństwa operacji lotniczych. FOD może pochodzić z różnych źródeł – od fragmentów gumy z opon samolotów, przez narzędzia pozostawione po pracach technicznych, po elementy wyposażenia naziemnego. Nawet niewielki przedmiot może spowodować poważne uszkodzenie płatowca lub silnika odrzutowego.

Tradycyjne metody wykrywania FOD opierają się na patrolach pojazdów lub obserwacjach wizualnych, które są czasochłonne i uzależnione od warunków oświetlenia. BSP wyposażone w kamery wysokiej rozdzielczości i algorytmy rozpoznawania obrazu umożliwiają automatyczne skanowanie nawierzchni pasa z powietrza. Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji możliwe jest wykrycie i klasyfikacja potencjalnych zagrożeń w czasie rzeczywistym.

Nowoczesne systemy dronowe wykorzystują połączenie analizy wizyjnej, danych lidarowych oraz sztucznej inteligencji opartej na sieciach neuronowych do detekcji i lokalizacji FOD z dokładnością do kilku centymetrów.

Po wykryciu nieprawidłowości system może automatycznie przesłać współrzędne GPS i obraz do służb utrzymania, umożliwiając natychmiastową interwencję. W praktyce pozwala to skrócić czas reakcji z kilkunastu minut do kilku sekund i ograniczyć konieczność zamykania drogi startowej.

### Ocena stanu nawierzchni

Regularna ocena stanu nawierzchni pola manewrowego jest jednym z kluczowych elementów utrzymania bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Nawierzchnia ulega naturalnemu zużyciu pod wpływem obciążeń i warunków atmosferycznych, co prowadzi do powstawania spękań, deformacji czy wykruszeń. BSP pozwalają na systematyczne wykonywanie nalotów fotogrametrycznych i lidarowych, które umożliwiają tworzenie modeli 3D nawierzchni o wysokiej rozdzielczości.

Analiza pozyskanych danych pozwala identyfikować zmiany geometrii pasa startowego i dróg kołowania oraz śledzić tempo degradacji. W połączeniu z algorytmami uczenia maszynowego możliwe jest automatyczne wykrywanie pęknięć i ubytków, co eliminuje subiektywność tradycyjnych metod inspekcji.

BSP mogą również wspierać pomiary współczynnika tarcia poprzez połączenie danych wizualnych i czujników kontaktowych zainstalowanych na pojeździe kontrolnym. Zastosowanie takich zintegrowanych metod pozwala na kompleksową ocenę nawierzchni i planowanie zabiegów utrzymaniowych w oparciu o dane rzeczywiste, a nie jedynie harmonogramowe.

### Kontrola oznakowania i oświetlenia

Oznakowanie poziome i pionowe oraz systemy oświetleniowe stanowią integralny element infrastruktury pola manewrowego. Ich prawidłowe funkcjonowanie ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczych, zwłaszcza w warunkach ograniczonej widzialności.

BSP mogą realizować inspekcje oznakowania poprzez rejestrację obrazu z wysokiej rozdzielczości, co umożliwia analizę jakości farb, kontrastu i zgodności rozmieszczenia z normami ICAO określonymi w Załączniku 14 do konwencji chicagowskiej poświęconemu lotniskom. Zastosowanie kamer wielospektralnych pozwala dodatkowo ocenić stan chemiczny materiałów oraz stopień zużycia farby, co umożliwia precyzyjne planowanie odnowień.

BSP wyposażone w kamery termowizyjne i fotometryczne mogą monitorować temperaturę oraz intensywność świecenia opraw nawigacyjnych, wykrywając potencjalne przegrzania, przerwy w obwodach i spadek luminancji. W rezultacie możliwe jest prowadzenie inspekcji oświetlenia w trybie predykcyjnym, zanim wystąpi awaria mogąca wpłynąć na bezpieczeństwo operacji.

### Monitorowanie stanu pola ruchu naziemnego w trudnych warunkach atmosferycznych

Jedną z istotnych zalet zastosowania BSP jest możliwość prowadzenia inspekcji w warunkach, w których praca personelu byłaby utrudniona lub niebezpieczna. Drony mogą wykonywać naloty w nocy przy ograniczonej widzialności, a także podczas lekkich opadów deszczu czy śniegu. Zastosowanie czujników termowizyjnych, lidarów i systemów GNSS wysokiej precyzji pozwala na skuteczne działanie nawet w warunkach niskiego kontrastu wizualnego.

Przykładowo, w okresach zimowych BSP mogą wspierać służby utrzymania lotniska w monitorowaniu skuteczności odladzania i usuwania śniegu. Analiza termowizyjna umożliwia identyfikację miejsc, w których zalega lód lub woda, co pozwala na szybką reakcję i zapewnienie odpowiednich warunków przyczepności nawierzchni.

### Doraźne inspekcje po zaistnieniu zdarzenia lotniczego

Po wystąpieniu incydentu lotniczego, przykładowo awaryjnego lądowania, wypadnięcia samolotu z pasa czy zderzenia z ptakiem, konieczna jest szybka ocena stanu pola manewrowego przed wznowieniem operacji[3]. W takich sytuacjach BSP mogą zostać użyte do natychmiastowego nalotu rozpoznawczego, dostarczając aktualnych danych o stanie nawierzchni i ewentualnych zanieczyszczeniach.

Zastosowanie dronów w tego typu działaniach pozwala uniknąć konieczności wchodzenia personelu na teren zdarzenia, co jest istotne zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa, jak i szybkości reakcji. Dane wizualne i termiczne mogą być natychmiast przesłane do służb ruchu lotniczego oraz służb technicznych, umożliwiając podjęcie decyzji o dopuszczeniu pasa do dalszego użytku.

## Integracja BSP z systemami i infrastrukturą lotniska

Skuteczność wykorzystania BSP w środowisku lotniskowym zależy nie tylko od możliwości samych platform, lecz także od ich zdolności do współpracy z istniejącymi systemami zarządzania bezpieczeństwem i infrastrukturą. Integracja dronów z systemami informatycznymi lotniska pozwala na automatyczne przekazywanie danych, ich analizę w czasie rzeczywistym oraz wspomaganie procesów decyzyjnych. W kontekście zarządzania bezpieczeństwem i utrzymania pola manewrowego kluczowe znaczenie mają

[3] Zob. J. Skóra, *Wpływ zagrożeń generowanych przez ptaki na bezpieczeństwo operacji lotniczych*, [w:] *Wybrane aspekty bezpieczeństwa*, red. A. Radomyski i in., LAW, Dęblin 2021, s. 187–210.

cztery obszary: współpraca z System Zarządzania Bezpieczeństwem (SMS – *Safety Management System*), integracja z systemami zarządzania uszkodzeniami lotniska (AFDMS – *Airfield Damage Management System*), koordynacja ze służbami ruchu lotniczego oraz automatyzacja przetwarzania i archiwizacji danych.

## BSP w Systemie Zarządzania Bezpieczeństwem

SMS jest podstawowym narzędziem organizacyjnym i analitycznym, służącym identyfikacji, ocenie i redukcji ryzyka operacyjnego w środowisku lotniskowym. Wdrożenie BSP do procesu inspekcji pola manewrowego w naturalny sposób wpisuje się w strukturę SMS, umożliwiając bieżące pozyskiwanie danych o stanie infrastruktury i potencjalnych zagrożeniach.

Dane zebrane przez drony – obejmujące obrazy, modele 3D, dane termiczne czy wyniki analizy prowadzonej przez narzędzia oparte o sztuczną inteligencję – mogą być automatycznie przekazywane do bazy SMS jako *safety input*, czyli dane wejściowe wspierające analizę trendów i ocenę ryzyka. Dzięki temu możliwe jest tworzenie dynamicznych raportów bezpieczeństwa, które nie bazują wyłącznie na zdarzeniach i obserwacjach personelu, ale również na pomiarach instrumentalnych.

W praktyce integracja BSP z SMS pozwala na: szybsze wykrywanie nieprawidłowości i potencjalnych zagrożeń, ocenę skuteczności działań naprawczych w ujęciu długoterminowym, automatyczne generowanie alertów w przypadku wykrycia odchyleń od norm oraz lepsze prognozowanie ryzyka operacyjnego w odniesieniu do stanu technicznego infrastruktury.

Ponadto, dzięki funkcji archiwizacji danych wizualnych, BSP umożliwiają tworzenie „cyfrowej historii bezpieczeństwa" pola manewrowego, wspierając proces audytów i dochodzeń powypadkowych.

## Integracja z systemami lotniskowymi

Systemy lotniskowe to systemy AFDMS służące do zarządzania informacjami o stanie technicznym nawierzchni, planowania remontów i monitorowania postępu prac utrzymaniowych. Dane pozyskane przez BSP mogą stanowić jego podstawowe źródło informacji. Fotogrametria lotnicza, LiDAR i analiza obrazu umożliwiają dokładne mapowanie uszkodzeń, a dane te mogą być automatycznie importowane do jego modułów celem późniejszej analizy.

Integracja polega na przekazywaniu danych geoprzestrzennych w formatach kompatybilnych z GIS (np. GeoTIFF, LAS, SHP). Pozwala to na tworzenie cyfrowych modeli pola manewrowego i analizę zmian w czasie. System może automatycznie porównywać kolejne naloty, identyfikując nowe uszkodzenia lub powiększanie się istniejących spękań.

Zastosowanie BSP w połączeniu z AFDMS umożliwia automatyczne wykrywanie i klasyfikację defektów, generowanie map priorytetów napraw, analizę trendów zużycia nawierzchni oraz planowanie działań prewencyjnych w oparciu o dane rzeczywiste.

W połączeniu z narzędziami predykcyjnymi i algorytmami sztucznej inteligencji możliwe jest prognozowanie miejsc potencjalnej degradacji, co wpisuje się w koncepcję *predictive maintenance* – utrzymania prognozowanego, coraz szerzej wdrażanego w zarządzaniu infrastrukturą lotniskową.

### Współpraca ze służbami ruchu lotniczego

Środowisko operacyjne lotniska wymaga pełnej koordynacji wszystkich działań odbywających się na polu manewrowym. Wprowadzenie BSP do przestrzeni kontrolowanej wymaga zatem ścisłej współpracy ze służbami ruchu lotniczego.

Współdziałanie to obejmuje zarówno planowanie misji, jak i realizację operacji w czasie rzeczywistym. Każda misja BSP powinna być koordynowana z dyżurnym operacyjnym portu lotniczego i kontrolerem ruchu lotniczego lub informatorem lotniskowej służby informacji powietrznej, w celu uniknięcia konfliktów z ruchem załogowym i pojazdami naziemnymi.

Coraz częściej stosuje się zautomatyzowane rozwiązania w postaci systemów U-Space/UTM, które umożliwiają elektroniczne planowanie i zatwierdzanie tras lotu BSP w strefach kontrolowanych. Umożliwia to pełną transparentność operacji i integrację danych o ruchu dronów z systemami radarowymi ATC. W Polsce wykorzystuje się system PANSA UTM.

### Automatyzacja przetwarzania danych

Jednym z kluczowych elementów efektywnego wykorzystania BSP jest automatyzacja przetwarzania i analizy pozyskiwanych danych. Tradycyjna metoda polegająca na ręcznym przeglądaniu zdjęć i raportów jest czasochłonna i podatna na błędy ludzkie.

Nowoczesne rozwiązania opierają się na połączeniu chmury obliczeniowej, sztucznej inteligencji i systemów informacji przestrzennej. Dane przesyłane przez BSP w czasie rzeczywistym mogą być automatycznie analizowane przez algorytmy wykrywające anomalie, takie jak pęknięcia, zabrudzenia, obce obiekty czy odchylenia w oznakowaniu. Wyniki analizy są prezentowane w postaci map tematycznych lub raportów z oznaczeniem lokalizacji nieprawidłowości.

Systemy te pozwalają na natychmiastowe przekazanie wyników do odpowiednich służb lotniskowych, a jednocześnie archiwizują dane w bazie, umożliwiając późniejsze porównania i audyty. Integracja z platformami zarządzania infrastrukturą (*Asset Management Systems*) pozwala na pełne

śledzenie cyklu życia elementów pola manewrowego – od momentu wykrycia defektu, poprzez jego naprawę, aż po weryfikację skuteczności działań.

W efekcie proces inspekcji z użyciem BSP przestaje być jedynie działaniem kontrolnym, a staje się integralną częścią cyfrowego ekosystemu lotniska, w którym dane z różnych źródeł są łączone i analizowane w sposób spójny.

## Wyzwania operacyjne i regulacyjne związane z wykorzystaniem BSP

Wdrażanie systemów BSP w środowisku lotniskowym, mimo licznych korzyści technicznych i organizacyjnych, wiąże się również z szeregiem wyzwań o charakterze prawnym, operacyjnym, środowiskowym i technologicznym. Złożoność przestrzeni powietrznej w rejonie lotniska, ścisłe przepisy dotyczące bezpieczeństwa oraz konieczność integracji z ruchem załogowym powodują, że każda operacja drona musi być precyzyjnie zaplanowana i zatwierdzona. W tym kontekście wyróżnia się cztery główne grupy wyzwań: regulacyjne, związane z bezpieczeństwem operacyjnym, warunkami atmosferycznymi oraz cyberbezpieczeństwem.

### Ograniczenia prawne

Podstawowym ograniczeniem stosowania BSP na lotniskach są przepisy dotyczące bezpieczeństwa przestrzeni powietrznej i operacji w strefach kontrolowanych lotnisk (CTR). Zgodnie z przepisami ICAO oraz rozporządzeniami EASA loty w rejonie lotniska mogą odbywać się wyłącznie po uzyskaniu zgody właściwego organu – w Polsce jest to Prezes Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC) oraz po wyrażeniu zgody (tzw. akceptacji misji) przez kontrolera ruchu lotniczego.

Operacje w obrębie CTR wymagają wcześniejszego planowania misji, koordynacji z kontrolą ruchu lotniczego oraz zatwierdzenia planu lotu BSP. W przypadku misji o charakterze cyklicznym konieczne jest opracowanie dokumentacji operacyjnej zawierającej analizę ryzyka (SORA) oraz opis środków ograniczających ryzyko.

Dodatkowym aspektem jest wymóg zgodności operacji z regulacjami unijnymi, w tym z Rozporządzeniem wykonawczym Komisji (UE) 2019/947 oraz Rozporządzeniem Delegowanym (UE) 2019/945, określającymi warunki wykonywania lotów w kategoriach: otwartej, szczególnej i certyfikowanej[4].

[4] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji systemów bezzałogowych statków powietrznych; Rozporządzenie Delegowane (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie systemów bezzałogowych statków powietrznych oraz operatorów systemów bezzałogowych statków powietrznych z państw trzecich.

W praktyce większość operacji BSP w środowisku lotniskowym kwalifikuje się do kategorii szczególnej, co wymaga uzyskania zezwolenia operacyjnego oraz, w niektórych przypadkach, przeprowadzenia procesu certyfikacji systemu.

Ograniczenia prawne dotyczą również aspektów ochrony danych i prywatności – rejestracja obrazu na terenie lotniska podlega przepisom RODO, a dane wizualne muszą być odpowiednio zabezpieczone. W przyszłości można spodziewać się wprowadzenia jednolitego europejskiego systemu dopuszczeń operacji BSP na lotniskach w ramach koncepcji U-Space, integrującej drony z kontrolowaną przestrzenią powietrzną.

## Bezpieczeństwo prowadzenia operacji

Bezpieczeństwo operacji BSP w środowisku o wysokiej gęstości ruchu lotniczego jest priorytetem. Potencjalne zagrożenia obejmują możliwość kolizji z załogowymi statkami powietrznymi, pojazdami naziemnymi, a także ryzyko awarii systemów sterowania. Z tego względu każda misja wymaga wcześniejszego uzgodnienia z wieżą kontroli lotów i służbami lotniskowymi.

Podstawą bezpiecznej eksploatacji jest wdrożenie procedur operacyjnych obejmujących wyznaczenie stref operacyjnych (np. wzdłuż drogi startowej), określenie warunków meteorologicznych dopuszczających lot, stosowanie redundancji w systemach zasilania i komunikacji oraz zapewnienie możliwości awaryjnego zakończenia misji lub bezpiecznego lądowania.

W przypadku większych lotnisk operacje dronów powinny być prowadzone w trybie „koordynowanym", tzn. z wykorzystaniem wspólnego systemu planowania i nadzoru misji, który umożliwia bieżący monitoring pozycji BSP w relacji do ruchu załogowego.

Ważnym aspektem bezpieczeństwa jest także ochrona przed zakłóceniem sygnału pochodzącego z systemów nawigacji satelitarnej, co w ostatnim czasie stało się normą, w szczególności w północnej części Polski. W tym celu stosuje się systemy *anti-jamming* i *anti-spoofing*, chroniące przed zakłóceniami GNSS, a także *geofencing* – wirtualne granice, które uniemożliwiają wlot drona w niedozwolone obszary.

Nie bez znaczenia jest również aspekt certyfikacji sprzętu. Drony używane na lotniskach muszą spełniać określone normy bezpieczeństwa technicznego (np. redundancja silników, komunikacji, zasilania) oraz przechodzić regularne przeglądy techniczne.

## Operacje w trudnych warunkach atmosferycznych

Środowisko lotniskowe charakteryzuje się dużą zmiennością warunków pogodowych, które mogą istotnie wpływać na stabilność lotu i jakość danych. Wiatr, opady, mgła i temperatura mają bezpośredni wpływ na parametry pracy BSP i bezpieczeństwo misji.

Wysokie prędkości wiatru (powyżej 10–12 m/s) mogą ograniczać możliwości manewrowe dronów wielowirnikowych, natomiast niska temperatura skraca czas pracy akumulatorów. Mgła i deszcz wpływają negatywnie na jakość obrazów optycznych i lidarowych, co może wymagać stosowania czujników termowizyjnych lub radarowych.

W celu zapewnienia ciągłości działania w zmiennych warunkach atmosferycznych stosuje się specjalistyczne powłoki ochronne, ogrzewane gimbale oraz systemy autodiagnostyki, które monitorują parametry środowiskowe i automatycznie przerywają misję w przypadku przekroczenia progów bezpieczeństwa.

W przyszłości można spodziewać się wprowadzenia zautomatyzowanych systemów oceny pogody dla operacji BSP, współpracujących z lotniskowymi stacjami meteorologicznymi (AWOS), które będą automatycznie generowały rekomendacje dotyczące możliwości wykonania misji.

## Kwestie związane z cyberbezpieczeństwem

Kwestie związane z cyberbezpieczeństwem zyskują coraz większe znaczenie w kontekście rosnącej cyfryzacji operacji lotniskowych. BSP stanowią element systemu sieciowego – komunikują się z kontrolerami, bazami danych, serwerami chmurowymi oraz urządzeniami Internetu Rzeczy (IoT – *Internet of Things*). Każdy z tych punktów jest potencjalnym celem ataku cybernetycznego.

Zagrożenia obejmują m.in. przejęcie kontroli nad dronem (tzw. *hijacking*), zakłócenie transmisji danych, manipulację obrazem lub dostęp do poufnych danych o infrastrukturze lotniskowej. Aby zminimalizować ryzyko, niezbędne jest stosowanie szyfrowanych kanałów komunikacyjnych, takich jak AES-256, autoryzacji wielopoziomowej oraz izolacji sieciowej pomiędzy systemem BSP a innymi komponentami infrastruktury lotniska.

Wymogiem staje się również tworzenie polityk cyberbezpieczeństwa dedykowanych operacjom BSP, obejmujących cykliczne testy penetracyjne i audyty bezpieczeństwa, zarządzanie aktualizacjami oprogramowania, procedury reagowania na incydenty oraz systemy rejestrowania i monitoringu operacji.

EASA zaleca, by w ramach zarządzania bezpieczeństwem (SMS) wprowadzić także moduł Cyber-SMS, integrujący zarządzanie ryzykiem technologicznym z klasycznym bezpieczeństwem operacyjnym. W ten sposób możliwe jest monitorowanie pełnego spektrum zagrożeń zarówno fizycznych, jak i cyfrowych.

## Perspektywy rozwoju technologii

Zastosowanie BSP w środowisku lotniskowym znajduje się obecnie w fazie intensywnego rozwoju. Postęp technologiczny, miniaturyzacja sensorów, rosnące możliwości przetwarzania danych oraz rozwój sztucznej inteligencji otwierają nowe perspektywy dla automatyzacji procesów inspekcyjnych i utrzymaniowych. W nadchodzących latach można oczekiwać dalszej ewolucji w kilku kluczowych obszarach: autonomizacji operacji, integracji systemów, rozwoju łączności, standaryzacji regulacyjnej oraz transformacji organizacyjnej w ramach koncepcji inteligentnego lotniska.

### Rozwój operacji autonomicznych

Najbardziej widocznym kierunkiem rozwoju jest dążenie do wprowadzenia w pełni autonomicznych operacji BSP. Obecnie większość misji wymaga nadzoru operatora, jednak postęp w zakresie sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego i systemów planowania trajektorii lotu umożliwia stopniowe przechodzenie do trybu *operator-in-the-loop* i dalej – *operator-on-the-loop*, w którym człowiek jedynie nadzoruje automatyczny proces.

Autonomiczne BSP będą zdolne do samodzielnego planowania misji w oparciu o dane z systemów meteorologicznych i ruchowych, a także do dynamicznego omijania przeszkód z wykorzystaniem lidarów, radarów i kamer stereoskopowych. W połączeniu z systemami dokującymi i ładowaniem indukcyjnym drony będą mogły prowadzić regularne, w pełni zautomatyzowane inspekcje pola manewrowego bez udziału człowieka.

W perspektywie 2030 r. można spodziewać się wdrożenia tzw. permanentnych systemów monitoringu dronowego, w których BSP stacjonują w hangarach rozmieszczonych wzdłuż dróg startowych i automatycznie wykonują naloty kontrolne w zaprogramowanych odstępach czasu lub w odpowiedzi na określone zdarzenia (np. po starcie samolotu, wykryciu opadu czy alarmie FOD).

### Rozwój systemów łączności i wymiany danych

Rozwój technologii komunikacyjnych, w szczególności 5G i w przyszłości 6G, stanowi istotny czynnik umożliwiający pełną integrację BSP z systemami lotniskowymi. Sieci nowej generacji zapewniają niskie opóźnienia transmisji (poniżej 10 m/s), wysoką przepustowość oraz możliwość jednoczesnej obsługi wielu urządzeń w ramach jednego obszaru operacyjnego.

W praktyce oznacza to możliwość prowadzenia zdalnych operacji z centralnego stanowiska kontroli dronów, transmisję obrazu 4K/8K w czasie rzeczywistym, a także automatyczną wymianę danych pomiędzy BSP a systemami zarządzania bezpieczeństwem i utrzymaniem.

Wdrażanie łączności 5G w środowisku lotniskowym umożliwi również rozwój tzw. *network slicing*, czyli wydzielonych, dedykowanych kanałów

komunikacyjnych dla BSP, zapewniających priorytet transmisji i odporność na zakłócenia. To z kolei zwiększy poziom bezpieczeństwa operacyjnego i umożliwi certyfikację dronów do lotów autonomicznych w CTR.

### Rozwój sensorów i analizy danych

Miniaturyzacja i rozwój technologii sensorów pozwolą w najbliższych latach na jeszcze dokładniejsze i bardziej kompleksowe monitorowanie infrastruktury lotniskowej. Kamery hiperspektralne nowej generacji umożliwią analizę składu chemicznego nawierzchni i farb oznakowania z jeszcze większą precyzją, a czujniki termowizyjne o wysokiej czułości pozwolą na wczesne wykrywanie anomalii temperaturowych w systemach oświetleniowych i instalacjach energetycznych.

Równolegle rozwijać się będą systemy analizy danych oparte na sztucznej inteligencji. W szczególności technologie głębokiego uczenia (*deep learning*) i rozszerzonej rzeczywistości (*augmented reality*) umożliwią automatyczne wykrywanie pęknięć, zabrudzeń, zmian barwy lub odblaskowości oznakowania. Modele uczenia maszynowego będą doskonaliły się z każdą kolejną inspekcją, zwiększając dokładność i niezawodność detekcji.

W kontekście eksploatacyjnym rozwój narzędzi analitycznych pozwoli na budowę systemów predictive maintenance opartych na danych z BSP, które automatycznie będą identyfikować obszary wymagające interwencji i planować prace utrzymaniowe w oparciu o priorytety ryzyka.

### Standaryzacja regulacyjna i certyfikacja

Postęp technologiczny musi iść w parze z rozwojem regulacyjnym. Kluczowym kierunkiem jest obecnie implementacja europejskiej koncepcji U-Space, opracowanej przez EASA i SESAR Joint Undertaking, która zakłada pełną integrację dronów z przestrzenią powietrzną kontrolowaną.

W ramach U-Space rozwijane są cztery podstawowe usługi:

- U1 – e-identyfikacja (identyfikacja i śledzenie BSP w czasie rzeczywistym);
- U2 – *geofencing* i planowanie lotów;
- U3 – dynamiczna rezerwacja przestrzeni powietrznej;
- U4 – wsparcie strategiczne i taktyczne dla lotów autonomicznych.

Wdrożenie U-Space w otoczeniu lotniskowym pozwoli na pełną integrację dronów inspekcyjnych z ruchem lotniczym, a także umożliwi ich certyfikację do pracy w trybie BVLOS w strefach CTR.

Kolejnym krokiem będzie opracowanie standardów jakości danych pochodzących z BSP zarówno w zakresie dokładności pomiarów, jak i ich interoperacyjności z systemami informacji przestrzennej oraz bazami danych utrzymaniowych. Standaryzacja tego typu, prowadzona przez organizacje EUROCAE i ISO, będzie niezbędna do powszechnego wdrożenia dronów w środowisku operacyjnym lotnisk.

## Kierunki rozwoju w Polsce

Polska posiada duży potencjał w zakresie wdrażania innowacyjnych technologii BSP zarówno ze względu na rozwiniętą infrastrukturę lotniskową, jak i na kompetencje w obszarze zarządzania ruchem dronów. PAŻP jest jednym z liderów w Europie w zakresie tworzenia systemów UTM i obecnie wdraża platformę PANSA UTM, umożliwiającą cyfrowe planowanie i nadzór operacji BSP.

W kolejnych latach można oczekiwać rozwoju współpracy pomiędzy PAŻP, Urzędem Lotnictwa Cywilnego oraz zarządzającymi lotniskami w zakresie opracowania standardowych procedur użycia BSP w inspekcjach infrastruktury. W szczególności porty w Warszawie, Gdańsku, Krakowie i Katowicach mogą stać się ośrodkami pilotażowymi w implementacji zautomatyzowanych systemów inspekcyjnych.

Równolegle rozwija się krajowy rynek producentów BSP, oferujących platformy dostosowane do wymogów lotniskowych – o wysokiej odporności na wiatr, wyposażone w sensory RTK/LIDAR i kompatybilne z systemami łączności 5G. W połączeniu z potencjałem analitycznym uczelni technicznych oraz instytutów badawczych (np. ITWL, Politechnika Warszawska, AGH) tworzy to solidne zaplecze dla dalszego rozwoju.

## Podsumowanie

BSP stanowią jedno z najbardziej obiecujących narzędzi wspierających utrzymanie infrastruktury lotniskowej. Ich zdolność do precyzyjnego pozyskiwania danych, elastyczność operacyjna oraz możliwość integracji z istniejącymi systemami zarządzania bezpieczeństwem czynią je atrakcyjnym rozwiązaniem dla portów lotniczych dążących do zwiększenia efektywności i poziomu bezpieczeństwa operacji.

Analiza wykazała, że wprowadzenie BSP do procesu inspekcji pola manewrowego może znacząco skrócić czas i koszty kontroli przy jednoczesnym zwiększeniu dokładności pomiarów. Drony wyposażone w kamery optyczne, termowizyjne i lidarowe umożliwiają prowadzenie kompleksowych inspekcji bez konieczności wstrzymywania ruchu lotniczego. Dzięki integracji z systemami SMS i AFDMS możliwe jest natychmiastowe przetwarzanie i analizowanie danych, co wspiera podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym.

Zastosowanie BSP wiąże się jednak z koniecznością rozwiązania szeregu wyzwań. Kluczowe pozostają kwestie regulacyjne (koordynacja z ruchem lotniczym, certyfikacja sprzętu, zgodność z przepisami EASA i ULC), bezpieczeństwo operacyjne oraz cyberochrona. Istotne jest również opracowanie standardowych procedur wykorzystania dronów w przestrzeni kontrolowanej lotniska, uwzględniających wymagania SORA i U-Space.

Perspektywy rozwoju technologii BSP są ściśle związane z postępem w dziedzinie sztucznej inteligencji, łączności 5G/6G oraz rozwojem cyfrowych bliźniaków infrastruktury (*Digital Twin*). W dłuższej perspektywie drony mogą stać się integralnym elementem koncepcji *smart airport* – autonomicznym, stale działającym systemem monitorowania, który nie tylko wspiera utrzymanie infrastruktury, ale także realnie podnosi poziom bezpieczeństwa operacji lotniczych.

Polska, dzięki doświadczeniu PAŻP w zakresie zarządzania ruchem BSP oraz wdrażaniu systemu PANSA UTM, ma realną szansę na opracowanie krajowego modelu wykorzystania dronów w utrzymaniu infrastruktury lotniskowej. Wdrożenie takich rozwiązań stanowiłoby krok w kierunku nowoczesnego, zintegrowanego zarządzania bezpieczeństwem, wpisując się w światowe trendy automatyzacji i cyfryzacji procesów lotniskowych.

## Bibliografia

Dokument Doc 8168 – Operacje statków powietrznych.

Dokument Doc 9137 – Podręcznik służb portu lotniczego.

Dokument Doc 9476 – Podręcznik systemów prowadzenia i kontroli ruchu naziemnego.

Dokument Doc 9774 – Podręcznik certyfikacji lotnisk.

Dokument Doc 9830 – Podręcznik zaawansowanych systemów prowadzenia i kontroli ruchu naziemnego.

Dokument Doc 9859 – Podręcznik zarządzania bezpieczeństwem.

Dokument Doc 9981 – Lotniska.

Okólnik ICAO nr 355 – Assessment, Measurement and Reporting of Runway Surface Conditions.

Rozporządzenie Delegowane (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie systemów bezzałogowych statków powietrznych oraz operatorów systemów bezzałogowych statków powietrznych z państw trzecich.

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji systemów bezzałogowych statków powietrznych.

Skóra J., *Perspektywy rozwoju polskiego sektora lotniczego*, [w:] *Porty lotnicze i morskie*, red. D. Bogusz, LAW, Dęblin 2023.

Skóra J., *Wpływ zagrożeń generowanych przez ptaki na bezpieczeństwo operacji lotniczych*, [w:] *Wybrane aspekty bezpieczeństwa*, red. A. Radomyski i in., LAW, Dęblin 2021.

Załącznik 14 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym.

**Bartosz Jurek**
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie
ORCID: 0009-0009-3270-0187

# Drony w służbie Polskiego Związku Łowieckiego

## Drones in the service of the Polish Hunting Association

**Streszczenie**

Niniejszy artykuł analizuje możliwości wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w działalności Polskiego Związku Łowieckiego (PZŁ). Omawia historyczne i współczesne znaczenie PZŁ jako organizacji realizującej zadania środowiskowe, społeczne i proobronne, a także jego rosnącą rolę w systemie bezpieczeństwa państwa. Na tym tle przedstawiono potencjał dronów jako narzędzi usprawniających gospodarkę łowiecką i działania terenowe. Wskazano kluczowe obszary zastosowań: monitoring obwodów łowieckich, inwentaryzację populacji zwierzyny, dokumentację szkód w uprawach, wsparcie zwalczania ASF i innych chorób, działania ratownicze oraz funkcje edukacyjne i analityczne. Artykuł podkreśla korzyści wynikające z integracji danych pozyskiwanych z dronów z cyfrowymi systemami zarządzania, zgodnie z założeniami Strategii Rozwoju PZŁ do 2030 roku. Zwrócono uwagę na ograniczenia prawne i etyczne, w tym konieczność respektowania prawa lotniczego, ochrony przyrody oraz zasady *fair chase*. Autor wskazuje, że wdrożenie dronów wymaga stworzenia procedur, szkoleń oraz standardów wykorzystania, a także współpracy z instytucjami państwowymi i branżowymi. W konkluzji stwierdzono, że systemowe, odpowiedzialne wdrożenie technologii BSP może znacząco zwiększyć efektywność, bezpieczeństwo i przejrzystość działalności PZŁ, stanowiąc istotny kierunek jego modernizacji na przyszłość.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe statki powietrzne, Polski Związek Łowiecki, gospodarka łowiecka, monitoring obwodów łowieckich, mapowanie terenu

**Abstract**

The article examines the potential of unmanned aerial vehicles in the operational framework of the Polish Hunting Association. It outlines the historical and contemporary role of the organization as a key actor in wildlife management, environmental protection, local community support and national security structures. Against this background,

the text evaluates how drones can enhance field operations and decision making. The analysis identifies several priority applications: monitoring of hunting grounds, wildlife population surveys, assessment and documentation of crop damage, support in combating African swine fever and other animal diseases, search and rescue tasks and the development of educational and analytical tools. The article highlights the value of integrating drone-based data with digital management systems, consistent with the objectives of the PZŁ Development Strategy for 2030. It also points to necessary legal and ethical safeguards, including compliance with aviation law, environmental regulations and the fair chase principle. The conclusion emphasizes that a structured implementation of UAV technologies, supported by training, standardized procedures and cooperation with public and technological institutions, can significantly improve efficiency, safety and transparency within the organization, marking an important step in its modernization for better future.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, Polish Hunting Association, hunting grounds monitoring, wildlife population surveys, animal population analysis

## Wprowadzenie

W dobie gwałtownych przemian cywilizacyjnych i technologicznych zmienia się również podejście do bezpieczeństwa narodowego, ochrony środowiska i funkcjonowania organizacji społecznych. Współczesne państwa nie mogą ograniczać się do klasycznego, militarnego rozumienia obronności[1]. Coraz istotniejszą rolę odgrywają struktury społeczne i technologiczne, które mogą być efektywnie integrowane w systemy zarządzania kryzysowego i obrony terytorialnej. W tym kontekście warto przyjrzeć się roli Polskiego Związku Łowieckiego (PZŁ), organizacji o stuletniej tradycji, funkcjonującej na przejęciu ochrony środowiska, działalności społecznej i patriotycznej, a także dysponującej praktycznym zapleczem terenowym, zdolnym do działań w warunkach kryzysu.

Równolegle obserwujemy dynamiczny rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych (BSP), potocznie zwanych dronami, które są wykorzystywane w siłach powietrznych do szerokiego zakresu działań od prowadzenia wiarygodnego rozpoznania obrazowego[2] do zadań bojowych[3]. Ich popularność, coraz powszechniejsze wykorzystanie w rolnictwie, leśnictwie, ochronie środowiska, służbach mundurowych, a także zarządzaniu

[1] J. Skóra, D. Bogusz, *Współczesne zagrożenia bezpieczeństwa państwa*, AMW, Gdynia 2025, s. 52.

[2] D. Bogusz, *Siły Powietrzne i lotnictwo Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej*, LAW, Dęblin 2021, s. 51.

[3] Tenże, *Polish Air Force*, Warsaw Management University, Warszawa 2024, s. 50.

kryzysowym otwiera przed nimi nowe pola zastosowań i perspektyw, również w gospodarce łowieckiej i strukturach związku. W tym kontekście powstaje pytanie: W jaki sposób drony mogą stać się realnym wsparciem dla Polskiego Związku Łowieckiego i jak należy je integrować z istniejącymi strukturami oraz praktykami?

Celem artykułu jest identyfikacja i przedstawienie zintegrowanego podejścia do roli dronów w działalności PZŁ. Wydaje się, że BSP mogą wzmacniać działania, niosąc pomoc, jeszcze skuteczniej wpierać pełnienie działalności statutowej i pozastatutowej dla zrzeszenia. Artykuł charakteryzuje PZŁ, jego historię, strukturę, funkcje i rolę, omawia potencjalne i rzeczywiste zastosowania dronów w działalności łowieckiej, analizując możliwości technologiczne, wyzwania prawne i etyczne, oraz praktyczne wdrożenia. Praca nie ma charakteru wyłącznie opisowego, a jest analityczną propozycją, opartą na dostępnych źródłach, dokumentach strategicznych i publikacjach branżowych. Wskazuje kierunki nowego spojrzenia na wykorzystanie potencjału dronów, w których może rozwijać swoją działalność organizacja, jaką jest PZŁ[4].

## Polski Związek Łowiecki – organizacja o wieloaspektowym znaczeniu

Polski Związek Łowiecki powstał w 1923 r. jako centralna organizacja koordynująca gospodarkę łowiecką w niepodległej Polsce – w odpowiedzi na potrzebę ochrony i ujednolicenia zarządzania zasobami fauny w odradzającym się państwie polskim po okresie zaborów, realizowaną wcześniej według odmiennych systemów. Od początku swojego istnienia organizacja ta łączyła funkcję gospodarczą, edukacyjną i społeczną. W okresie II Rzeczypospolitej stała się ważnym elementem życia publicznego, a myśliwi często pełnili funkcje społeczne i obronne. Po II wojnie światowej, mimo zmian, PZŁ przetrwał reorganizację ustrojową, zachowując ciągłość istnienia, a jego zadania zdefiniowano ponownie w ramach państwowego systemu zarządzania zasobami przyrodniczymi. Transformacja po 1989 r. oraz uchwalenie Prawa Łowieckiego z 1995 r. przywróciły pełną autonomię dla związku, potwierdzając jego rolę jako społecznej organizacji o charakterze użyteczności publicznej, dzięki czemu mógł on rozwijać struktury terenowe, szkolenia, infrastrukturę oraz systemy oceny i ewidencji[5]. Po dziś dzień pozostaje centralnym podmiotem odpowiedzialnym za gospodarkę łowiecką w Polsce.

[4] Zob. https://www.pzlow.pl [dostęp: 11.11.2025].

[5] R. Kowalski, *Historia łowiectwa polskiego*, Wydawnictwo Łowiec Polski, Warszawa 2019.

Obecnie PZŁ zrzesza około 130 tys. członków – przeszkolonych, posiadających uprawnienia do posługiwania się bronią i działających zgodnie z etyką łowiecką – funkcjonując na trzech poziomach: krajowym, okręgowym i lokalnym. Struktura PZŁ obejmuje Naczelną Radę Łowiecką, Zarząd Główny oraz 49 zarządów. Ponadto związek wyróżnia istnienie Zjazdu Delegatów, który stanowi najwyższą władzę, Sądy Łowieckie, na wszystkich poziomach zrzeszenia, oraz Rzeczników Dyscyplinarnych[6]. Koła łowieckie stanowią podstawową jednostkę organizacyjną i są bezpośrednio odpowiedzialne za wykonywanie gospodarki łowieckiej na terenie obwodów. Każdy członek PZŁ przechodzi szkolenie, staż i egzamin, co zapewnia wysoki poziom kompetencji środowiska myśliwych.

Zgodnie z ustawą z dnia 13 października 1995 r. o prawie łowieckim PZŁ jest organizacją społeczną o charakterze użyteczności publicznej, odpowiadającą za szeroko rozumianą gospodarkę łowiecką, gdzie z punktu widzenia laika mogłoby się wydawać, że jest odpowiedzialny wyłącznie za planowanie, wykonywanie odstrzału i pozyskanie zwierzyny, lecz nie zamyka się to wyłącznie na gospodarowaniu populacjami zwierząt łownych[7]. Odpowiada on także za edukację kandydatów na myśliwych, przeprowadzanie szkoleń i egzaminów państwowych, promocję i czuwanie nad przestrzeganiem etyki łowieckiej, ochronę i hodowlę gatunków łownych, w tym ograniczanie chorób zakaźnych, jak ASF, oraz współpracę z instytucjami państwowymi w zakresie ochrony środowiska. Kompetencje PZŁ wykraczają poza typowe funkcje środowiskowe. Prowadzi również działania w procesach zarządzania kryzysowego, wspiera służby ratownicze na poziomie lokalnym i państwowym, a także pełni funkcję integratora działań lokalnych społeczności, co czyni go podmiotem mogącym realnie wspierać mieszkańców w sytuacjach zagrożeń[8].

PZŁ aktywnie rozwija współpracę z Ministerstwem Obrony Narodowej. Członkowie PZŁ uczestniczą w szkoleniach organizowanych przez Wojsko Polskie, wspierają rekrutację do Wojsk Obrony Terytorialnej, a także angażują się w Narodowy Program Szkolenia Rezerw Osobowych[9]. Związek dysponuje infrastrukturą techniczną – strzelnicami, środkami transportu terenowego, systemami łączności, co czyni go naturalnym zapleczem logistycznym i operacyjnym dla działań obronnych[10].

---

[6] Polski Związek Łowiecki Zarząd Główny, *Informator PZŁ 2023*, Warszawa 2023, s. 7–9.

[7] Ustawa z dnia 13 października 1995 r. Prawo łowieckie (Dz.U. z 1995 r., nr 147, poz. 713).

[8] Statut Polskiego Związku Łowieckiego, § 5–6, uchwała NRŁ nr 68/2018 z dnia 13 grudnia 2018 r. ze zm.

[9] Ustawa z dnia 11 marca 2022 r. o obronie Ojczyzny (Dz.U. z 2022 r., poz. 655).

[10] Porozumienie o współpracy pomiędzy Ministerstwem Obrony Narodowej a Polskim Związkiem Łowieckim: Nowa Era Współpracy na Rzecz Obrony Państwa, zawarte w dniu 5 czerwca 2025 r., Warszawa.

Zakres działań, z jakim mierzy się zrzeszenie, daje dużą swobodę w implementacji nowoczesnych technologii, w ramach prawa łowieckiego i w poszanowaniu etyki łowieckiej.

Strategia Rozwoju PZŁ do 2030 roku wprost wskazuje na potrzebę zwiększenia udziału związku w strukturach bezpieczeństwa narodowego. Dokument ten zakłada modernizację struktur i procedur, rozwój edukacji i promocję łowiectwa, cyfryzację ewidencji, rejestrów i zarządzania, integrację działań proobronnych, wdrażanie narzędzi do zarządzania bezpieczeństwem lokalnym oraz systemowe włączenie kół łowieckich do działań ratowniczych i wspierających, a także otwarcie się na nowe technologie, w tym systemy bezzałogowe[11].

Współczesne wyzwania, przed którymi stoi PZŁ, obejmują zarówno kwestie wewnętrzne, jak i zewnętrzne. Między nimi znajdują się: zmieniające się postrzeganie łowiectwa, potrzeba większej przejrzystości działań, dialogu ze społeczeństwem, cyfryzacja procesów i zintegrowanie z krajowymi systemami ewidencyjno-ostrzegawczymi, zmieniające się warunki środowiskowe pod postacią konieczności reagowania na migrację gatunków, zmianę siedlisk, choroby zwierzęce. Strategia Rozwoju PZŁ do 2030 roku zakłada m.in. rozwój działań edukacyjnych, wzmocnienie infrastruktury oraz aktywne włączenie się w system bezpieczeństwa narodowego[12].

Na PZŁ ciąży coraz większa presja społeczna i medialna wymagająca większej przejrzystości działań, co związane jest z kryzysem wizerunkowym, wynikającym z kontrowersji związanych z łowiectwem, oraz coraz bardziej popularnymi w obecnych czasach ruchami społecznymi „zielonych". Starzenie się struktur, zmniejszająca się liczba rekrutujących, młodych członków połączona z zagrożeniami epizootycznymi, czyli masowymi chorobami zakaźnymi zwierząt, zmiany klimatyczne powodujące zarówno migrację gatunków, jak i wpływające na ich kondycję, globalizacja, wszechobecny transport, napływ inwazyjnych gatunków obcych do naszego ekosystemu, rosnące szkody rolnicze, wymagające interwencji, szybkiej i precyzyjnej dokumentacji, a także konieczność cyfryzacji zgodnie ze strategią – stanowią czynniki znacznie zwiększające konieczność wdrażania nowoczesnych technologii w odróżnieniu od tradycyjnych metod i sposobów sprzed lat. Zauważalna jest konieczność poszukiwania narzędzi poprawiających skuteczność i funkcjonowanie organizacji, a przede wszystkim znacznie ułatwiających pracę i funkcjonowanie w tym obszarze, bazującym głównie na dużych połaciach terenu.

---

[11] Polski Związek Łowiecki, *Strategia Zrównoważonego Łowiectwa w Polsce do roku 2030 z perspektywą do roku 2035*, https://www.pzlow.pl/strategia-dla-lowiectwa [dostęp: 12.11.2025].

[12] Tamże.

## BSP w łowiectwie, nowoczesne technologie w służbie PZŁ

Współczesne BSP, nazywane popularnie dronami, to nie tylko narzędzia fotografii lotniczej, ale coraz częściej zaawansowane systemy do zbierania danych, analizy przestrzennej, geolokalizacji i monitoringu. BSP stają się integralnym elementem współczesnej transformacji technologicznej. Ich rola wykracza dziś poza funkcje rekreacyjne czy wojskowe – są narzędziem o szerokim zastosowaniu w rolnictwie precyzyjnym, leśnictwie, ochronie środowiska, a także w zarządzaniu kryzysowym. To kluczowe narzędzie w zarządzaniu zasobami środowiskowymi ostatnich lat. Drony umożliwiają szybkie pozyskanie danych, rekonesans, tworzenie map terenu, identyfikację anomalii, dokumentację wideo i foto, a także analizę danych w czasie rzeczywistym. Charakteryzuje je relatywnie niski koszt operacyjny w porównaniu z lotnictwem załogowym. Obecne technologie wyróżniają się dużą precyzją pomiarową, a dzięki termowizji i multispektralności mają dostęp do niewidocznych gołym okiem miejsc oraz zapewniają możliwość zbierania danych, nawet w nadzwyczajnie trudnym terenie.

W kontekście łowiectwa mogą odegrać kluczową rolę w podniesieniu efektywności zarządzania obwodami łowieckimi, zwiększeniu bezpieczeństwa polowań, ochronie przyrody i dokumentowaniu szkód. Ich zastosowanie może być w pełni zgodne z założeniami Strategii Rozwoju PZŁ, w której podkreśla się wagę innowacji technologicznych dla przyszłości organizacji. Drony oferują możliwość bezpiecznego, szybkiego i efektywnego pozyskiwania informacji terenowych – niezbędnych do racjonalnego zarządzania zasobami przyrodniczymi, co przy obecnych zmianach klimatycznych, wzroście populacji niektórych gatunków, migracji zwierząt, szkodach rolniczych, rozprzestrzenianiu się chorób zakaźnych oraz rosnącej presji urbanizacyjnej sprawia, że gospodarka łowiecka wymaga błyskawicznej i wiarygodnej informacji, gdzie właśnie drony mogą odegrać kluczową rolę, a ich rosnąca dostępność i funkcjonalność czynią je narzędziem, które powinno jak najbardziej zostać zintegrowane z działalnością PZŁ[13].

Odpowiadając na pytanie, czy i w jaki sposób drony mogą stać się realnym wsparciem dla PZŁ, rozważmy, jak należy je integrować z istniejącymi strukturami, oraz praktykami. Należałoby wskazać co najmniej kilka kluczowych obszarów, w których technologie te mogą przynieść myśliwym, a co za tym idzie społeczności lokalnej, wymierne korzyści[14].

---

[13] OptykaPRO, *Nowe technologie stosowane w łowiectwie*, https://optykapro.pl/pl/blog/nowe-technologie-stosowane-w-lowiectwie-1721288213.html [dostęp: 15.11.2025].

[14] GuideIR Polska, *Zastosowanie dronów w myślistwie*, https://www.guideir.com.pl/blog/zastosowanie-dronow-w-myslistwie [dostęp: 13.11.2025].

Na podstawie analizy materiałów źródłowych można wyróżnić szereg kluczowych zastosowań dronów w działalności PZŁ.

Pierwszym z nich jest monitoring terenów łowieckich – szybka identyfikacja szkód łowieckich, inspekcja obwodów, określanie stanu urządzeń łowieckich, m.in. paśników, lizawek, magazynów, wykrywanie i weryfikacja nielegalnych instalacji w terenie, takich jak ambony, nęciska, możliwość kontroli trudno dostępnych i niebezpiecznych terenów, ocena wpływu ruchu turystycznego na zwierzynę. Przy czym modelową sytuacją w przypadku monitoringu jest sprawdzenie poletka przed sianokosami lub zbiorami przy wysokich uprawach. Regularnie wykonywane naloty mogą tworzyć ciąg danych, pozwalających na analizę zmian zachodzących w środowisku, a w dłuższej perspektywie monitoring zwiększałby znacznie bezpieczeństwo zarówno myśliwych, jak i społeczności lokalnej, co mogłoby przełożyć się na możliwość szybszego reagowania, także w sytuacjach kryzysowych.

Kolejne, bardzo ważne zastosowanie mieści się w zakresie inwentaryzacji populacji – to jedno z najtrudniejszych, czasochłonnych i najbardziej wymagających wsparcia technologii zadanie w gospodarce łowieckiej. Tradycyjne metody tropienia i obserwacji punktowych są często zależne od warunków pogodowych, wymagają znacznej ilości czasu i są obarczone błędem czynnika ludzkiego. BSP wyposażone w kamery termowizyjne i multispektralne dają możliwość przelotu nad dużymi obszarami i dokonania precyzyjnej oceny liczebności zwierzyny z minimalną ingerencją, ocenę kondycji siedlisk, identyfikację miejsc koncentracji, a nawet tras migracyjnych. Dane te mogą wspierać planowanie odstrzałów i działania hodowlane[15].

Nie można zapomnieć o zagrożeniach i ich zapobieganiu co przekłada się na następne zastosowanie – zwalczanie ASF i chorób odzwierzęcych. W walce z afrykańskim pomorem świń drony mogłyby stać się jednym z najważniejszych narzędzi myśliwych, Inspekcji Weterynaryjnej, oraz Służb Leśnych. Poprzez patrolowanie terenów można szukać potencjalnych zakażeń, weryfikować padłe osobniki, wspierać monitoring sanitarny, kontrolując miejsca potencjalnego skażenia, monitorować wydzielone strefy oraz prowadzić wsparcie dla wykonywanego, koniecznego odstrzału sanitarnego. Skutkiem byłoby ograniczenie ekspozycji na potencjalnie zakaźny materiał biologiczny, wykrywanie ognisk i zwalczanie ich, co owocowałoby zmniejszeniem strat w inwentarzu żywym gospodarstw rolnych, a nawet ich eliminację.

Następnym obszarem, jakże ważnym i odpowiadającym za koszty ponoszone przez środowisko łowieckie, jest zastosowanie przy ocenie szkód w uprawach – szczególnie istotne w kontekście rozliczeń z rolnikami.

[15] SkyAgroTech, *Drony w łowiectwie – monitoring, inwentaryzacja i szacowanie szkód*, https://skyagrotech.pl/szkodylowieckie [dostęp: 13.11.2025].

Szybka i precyzyjna dokumentacja szkód w uprawach rolnych, pomocna przy sporządzaniu protokołów i roszczeń odszkodowawczych. Szkody wyrządzane przez dziki, jelenie, sarny czy inne zwierzęta stanowią przez to jeden z najpoważniejszych problemów gospodarki łowieckiej. Często powoduje to konflikty społeczne w związku ze stratami ekonomicznymi oraz koniecznością wypłaty odszkodowań. Tradycyjne metody oceny są czasochłonne i zawodne, przez co często kwestionowane. BSP umożliwiają dokumentację całych pól z bardzo dużą dokładnością, co przekłada się na obiektywną ocenę procentową powierzchni ich uszkodzeń, a nawet analizę wegetacji upraw. To z kolei stanowi solidną podstawę dokumentacji dowodowej przed rolnikami w ewentualnych sporach[16].

Zastosowanie we wsparciu działań ratowniczych – drony w rękach myśliwych nie muszą się sprawdzać, wykonując zadania stricte związane z łowiectwem. Poza poszukiwaniem postrzałków mogłyby brać udział w monitoringu pożarów lasów i skutków klęsk żywiołowych lub w wyszukiwaniu zaginionych osób w trudnym terenie. De facto pogotowie postrzałkowe – którego na celu jest dochodzenie nieskutecznie strzelonej uchodzącej zwierzyny, przy czym zwykle pomaga pies tropiący – wymaga wsparcia na poziomie, który zapewnia dron wyposażony w kamerę termowizyjną. Ograniczyłoby to znacznie czas potrzebny na odnalezienie postrzałka, mogłoby zmniejszyć ilość wyjazdów tropowców, które są coraz mniej spotykane i nie każdy może liczyć na ich pomoc, a także skrócić ból nieskutecznie strzelonego zwierzęcia łownego.

Ponadto należy wskazać na nieocenioną przydatność BSP we wzbogacaniu oferty edukacyjnej i dokumentacji – mogą służyć do tworzenia atrakcyjnych materiałów dydaktycznych i edukacyjnych dla nowych myśliwych w celach szkoleniowych, dokumentacji działań kół łowieckich, ich promocji, tworzenia raportów środowiskowych, nagrywania filmów i robienia zdjęć promujących kulturę łowiecką. Szczególnie ważna w dobie sporów wokół łowiectwa, a wręcz kluczowa do budowania wizerunku i pokazywania przejrzystości działań, staje się profesjonalna dokumentacja.

Jednym z najbardziej pożądanych obszarów zastosowań jest analiza danych i integracja z systemami. Jak zostało wspomniane, drony „to nie tylko narzędzia fotografii lotniczej". Największy potencjał w dobie dzisiejszej technologii i technologii jutra drzemiący w BSP tkwi w możliwości integracji z różnymi systemami i bazami danych. Z możliwości urządzeń mogłyby skorzystać takie instytucje jak Główny Inspektorat Sanitarny

[16] S.A. Osadkowski, *Wykorzystanie dronów do oceny szkód w uprawach*, https://osadkowski.pl/blog-agrotechnika/wykorzystanie=-drona-do-oceny-szkod?srsltid=AfmBOoow0jchnXiBg1eNGke7Yy8voAKl9TlUR8r9BQQ0cqZXgZXAVZns [dostęp: 14.11.2025].

czy Główny Urząd Statystyczny. Z pewnością trwale wzbogaciłoby to ewidencje łowieckie, mapy siedliskowe, a nawet pozwoliłoby tworzyć predykcyjne modele migracji zwierzyny. Integracja danych pochodzących od bezzałogowców, w połączeniu z cyfryzacją w PZŁ nakreśloną w Strategii Rozwoju do 2030 roku, może znacząco zwiększyć jakość i skuteczność w zarządzaniu obwodami.

Po dokonaniu analizy możliwych zastosowań można wywnioskować – i jednocześnie odpowiedzieć na postawione pytanie badawcze – że drony mogą stać się realnym wsparciem dla PZŁ i jak najbardziej należy je integrować z istniejącymi strukturami oraz praktykami. Konkluzją jest, że zdecydowanie BSP mogą realnie i znacząco wesprzeć działalność PZŁ, a ich integracja ze strukturami organizacji jest nie tylko możliwa, lecz w dobie obecnych czasów wskazana, wielce pożądana i zgodna z kierunkiem rozwoju wyznaczonym w Strategii Rozwoju PZŁ do 2030 roku. Dzięki technologiom BSP możliwe jest zwiększenie efektywności, bezpieczeństwa i skuteczności działań, a drony stają się narzędziem pozwalającym tej organizacji sprostać wyzwaniom XXI w.

Wprowadzenie dronów do praktyki łowieckiej wymaga precyzyjnego uregulowania ich zastosowania. Implementacja dronów w łowiectwie wiąże się z obowiązkiem przestrzegania regulacji prawa lotniczego oraz przepisów o ochronie przyrody. Jest to szczególnie istotne, gdyż niewłaściwie użyta technologia może ingerować w dobrostan zwierząt, bezpieczeństwo oraz środowisko naturalne. Niedozwolone jest m.in. wykorzystywanie dronów do naprowadzania zwierzyny na myśliwego lub płoszenia zwierząt. Konieczne jest także posiadanie odpowiednich kwalifikacji operatora oraz rejestracja urządzenia. Zastosowanie dronów przez członków PZŁ musi uwzględniać szereg ograniczeń wynikających z prawa lotniczego, przepisów o ochronie przyrody oraz kodeksu etyki łowieckiej. Użycie drona do naprowadzania zwierzyny, płoszenia, przeszkadzania w naturalnym rytmie dobowym zwierząt – jest nie tylko nielegalne, ale i nieetyczne. Wymogi te nie wykluczają użycia dronów w działalności PZŁ, ale wymagają opracowania wewnętrznych regulaminów i standardów. Z punktu widzenia etyki łowieckiej technologia nie może być użyta jako narzędzie ułatwiające polowanie, jeżeli prowadziłoby to do naruszenia zasady *fair chase* poprzez uzyskanie znacznej, nieuczciwej przewagi, zniekształcającej równowagę sił między myśliwym a zwierzyną[17].

Zgodnie z przepisami Urzędu Lotnictwa Cywilnego każdy operator drona o masie powyżej 250 g musi posiadać odpowiednie uprawnienia, zarejestrować urządzenie i przestrzegać stref zakazu lotów (np. Natura 2000, rezerwaty).

[17] PZŁ Suwałki, *Etyka dronów w myślistwie*, https://www.pzl.suwalki.pl/etyka-dronow-w-myslistwie [dostęp: 14.11.2025].

Ponadto w niektórych sytuacjach wymagane jest uzyskanie zgody właściciela gruntu lub dzierżawcy obwodu[18].

Dla PZŁ oznacza to potrzebę stworzenia wytycznych regulujących:

- procedury użycia dronów;
- kwalifikacje operatorów;
- przechowywanie i udostępnianie danych;
- granice etyczne i sankcje za nadużycia[19].

Integracja dronów w działalności PZŁ nie powinna mieć charakteru jednorazowego eksperymentu, lecz wymaga systemowego podejścia, które powinno obejmować:

- szkolenie operatorów w ramach struktur związku;
- zakup lub leasing odpowiednio dostosowanego sprzętu;
- tworzenie baz danych wizualnych i geolokalizacyjnych;
- współpracę z firmami oferującymi profesjonalne usługi dronowe;
- integrację z systemami zarządzania obwodami łowieckimi;
- współpracę z naukowcami i ekologami;
- integrację z systemami krajowymi i bazami.

Działania te pozwolą zwiększyć efektywność gospodarki łowieckiej, poprawić dokumentację i wspierać współpracę z administracją publiczną i lokalną, a także wzmacniać aspekty społeczne i proobronne zgodnie z zapisami Strategii dla Łowiectwa do 2030 roku[20].

W Polsce już obecnie funkcjonują firmy oferujące usługi szacowania szkód łowieckich z wykorzystaniem dronów (np. Dendrolog, SkyAgroTech). Również w niektórych kołach łowieckich prowadzone są testy systemów BSP do lokalizacji postrzałków czy inwentaryzacji zwierzyny, a z inicjatywy niektórych kół łowieckich następuje progres w zakresie monitoringu młodych saren i innej zwierzyny przed koszeniem czy innymi pracami gospodarczymi. W Niemczech czy Czechach organizacje łowieckie już od kilku lat stosują drony do wyżej wymienionych zadań, istnieją tam programy dotacyjne wspierające zakup dronów przez organizacje łowieckie. W Szwajcarii bezzałogowce wykorzystywane są w celu monitorowania populacji świstaka. W Finlandii i w Austrii inwentaryzacja zwierzyny łownej z użyciem dronów sięga obecnie 90%. Możliwe jest także przeniesienie dobrych praktyk na grunt polski poprzez współpracę transgraniczną i wspólne projekty badawcze. Przykłady te dowodzą, że drony są gotowe do zastosowań w praktyce i mogą być cennym wsparciem także dla polskich myśliwych[21].

---

18 Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz.U. z 2002 r., nr 130, poz. 1112).

19 Tamże.

20 Polski Związek Łowiecki, *Strategia Zrównoważonego Łowiectwa...*, dz. cyt.

21 OptykaPRO, *Nowe technologie...*, dz. cyt.

## Podsumowanie

Drony stają się kluczowym narzędziem wspierającym nowoczesną gospodarkę łowiecką. Analiza dokonana w niniejszej pracy prowadzi do jednoznacznego wniosku: technologie bezzałogowe realnie i w sposób mierzalny wzmacniają możliwości operacyjne, a PZŁ, jako organizacja o silnym zakorzenieniu społecznym i rozbudowanej strukturze terenowej, ma potencjał, by stać się jednym z głównych beneficjentów i użytkowników nowoczesnych technologii takich jak drony, integrując je w swojej działalności. Ich zastosowanie może znacząco podnieść jakość i efektywność zarządzania gospodarką łowiecką, skuteczność działań terenowych, oraz wiarygodność dokumentacyjną, a także zwiększyć przejrzystość postępowań. Jednocześnie wymaga to przemyślanej integracji uwzględniającej aspekty prawne, etyczne i organizacyjne. To już nie tylko kwestia przyszłości, a logiczny i konieczny krok w kierunku profesjonalizacji, efektywności i odpowiedzialności środowiskowej organizacji.

Wydaje się, że BSP mogą wzmacniać działania, niosąc skutecznie pomoc, wspierając pełnienie działalności statutowej i pozastatutowej dla PZŁ.

W perspektywie kolejnych lat warto, by PZŁ rozważył wprowadzenie programu pilotażowego integracji BSP w wybranych okręgach, opracowanie wewnętrznych wytycznych, stworzenie kompleksowych regulacji, ustanowienia jednolitych procedur wykorzystania oraz rozwinięcia współpracy z instytucjami technologicznymi i MON. Nie można pozwolić na to, by drony były traktowane jako środek do uproszczenia polowania. Drony nie są narzędziem polowania – stają się częścią nowego modelu operacyjnego, aparaturą pozyskiwania wiedzy, analizy, ratownictwa i odpowiedzialnego zarządzania środowiskiem, w którym tradycja łączy się z innowacją, a bezpieczeństwo z ekologią. W przyszłości mogą stanowić jeden z filarów nowoczesnej gospodarki łowieckiej dla Polskiego Związku Łowieckiego.

## Bibliografia

Bogusz D., *Polish Air Force*, Warsaw Management University, Warszawa 2024.

Bogusz D., *Siły Powietrzne i lotnictwo Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej*, LAW, Dęblin 2021.

https://optykapro.pl.

https://osadkowski.pl.

https://skyagrotech.pl.

https://www.guideir.com.pl.

https://www.pzl.suwalki.pl.

https://www.pzlow.pl.

Kowalski R., *Historia łowiectwa polskiego*, Wydawnictwo Łowiec Polski, Warszawa 2019.

Polski Związek Łowiecki Zarząd Główny, *Informator PZŁ 2023*, Warszawa 2023.

Polski Związek Łowiecki, *Strategia Zrównoważonego Łowiectwa w Polsce do roku 2030 z perspektywą do roku 2035*, Warszawa 2024.

Porozumienie o współpracy pomiędzy Ministerstwem Obrony Narodowej a Polskim Związkiem Łowieckim: Nowa Era Współpracy na Rzecz Obrony Państwa, zawarte w dniu 5 czerwca 2025 r., Warszawa.

Skóra J., Bogusz D., *Współczesne zagrożenia bezpieczeństwa państwa*, AMW, Gdynia 2025.

Statut Polskiego Związku Łowieckiego, § 5–6, uchwała NRŁ nr 68/2018 z dnia 13 grudnia 2018 r. ze zm.

Ustawa z dnia 11 marca 2022 r. o obronie Ojczyzny (Dz.U. z 2022 r., poz. 655).

Ustawa z dnia 13 października 1995 r. Prawo łowieckie (Dz.U. z 1995 r., nr 147, poz. 713).

Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz.U. z 2002 r., nr 130, poz. 1112).

## Zakończenie

Dynamiczne spektrum zmian zachodzących w obszarze technologii bezzałogowych statków powietrznych wskazuje, że systemy te stają się jednym z kluczowych komponentów współczesnej przestrzeni operacyjnej oraz cywilnej. Analizy zaprezentowane w monografii ukazują, że bezzałogowe platformy nie są już wyłącznie narzędziem wspierającym jedynie działania militarne, lecz, dysponując szerokim potencjałem, coraz częściej pełnią rolę wysoko wyspecjalizowanych komponentów wielostopniowych, złożonych struktur bezpieczeństwa i transportu.

Zgromadzone opracowania potwierdzają rosnące znaczenie technologii oraz postępującą integrację bezzałogowych systemów w środowiskach państwowych, w tym w codziennym życiu zarówno ludzi, jak i przedsiębiorstw.

Wnioski płynące z badań zawartych w niniejszej monografii jednoznacznie wskazują, że rozwój platform bezzałogowych wymaga równoległego doskonalenia rozwiązań technicznych, regulacyjnych i organizacyjnych. W obszarze służb mundurowych technologia ta sprzyja zwiększeniu efektywności operacyjnej, umożliwiając prowadzenie działań, które dotychczas były ograniczone czynnikami środowiskowymi, czasowymi bądź ryzykiem dla personelu zaangażowanego w operację. Natomiast w sektorze cywilnym obserwuje się stopniowe przejście od eksperymentalnych wdrożeń do szerokiej implementacji w logistyce, ochronie infrastruktury, transporcie oraz nowo kształtujących się segmentach mobilności powietrznej.

Wyniki przedstawione w publikacji podkreślają również, że rosnąca obecność bezzałogowych statków powietrznych w przestrzeni publicznej wytwarza potrzebę zwiększenia świadomości społecznej, rozwoju kompetencji użytkowników i personelu, a także prowadzenia dialogu i wieloaspektowej współpracy między instytucjami państwowymi, środowiskiem naukowym i sektorem prywatnym. Technologia ta, zyskując na znaczeniu, wymaga odpowiedzialnego i wieloaspektowego podejścia, obejmującego nie tylko podstawowe kwestie bezpieczeństwa, lecz także etykę, ochronę danych czy wpływ na organizację życia społecznego.

Konferencja „Bezzałogowe Platformy w Służbach Mundurowych i Transporcie" stała się istotnym forum do wymiany spostrzeżeń, stanowiąc odpowiedź na rosnące zainteresowanie tą problematyką. Wydarzenie podkreśla ponadto konieczność interdyscyplinarnego spojrzenia na obszar systemów bezzałogowych. Opracowana na podstawie materiałów konferencyjnych monografia stanowi wartościowy wkład w rozwój dyskursu naukowego, prezentując zróżnicowane i często nowatorskie perspektywy i rozwiązania, które mogą posłużyć jako inspiracja do dalszych analiz, badań i wdrożeń.

Biorąc pod uwagę dynamiczny i płynny charakter przemian technologicznych, należy spodziewać się, że rola systemów bezzałogowych będzie w kolejnych latach systematycznie wzrastać, oferując przy tym coraz bogatszy wachlarz nie tylko korzyści, ale i zagrożeń. Wskazuje to na potrzebę kontynuacji badań nad funkcjonowaniem systemów bezzałogowych, bezpieczeństwem ich eksploatacji oraz potencjałem integracji z innymi technologiami i płaszczyznami. Przyszłe prace naukowe powinny koncentrować się zarówno na aspektach technicznych, jak i społecznych, organizacyjnych oraz prawnych. Tylko kompleksowe podejście umożliwi pełne wykorzystanie możliwości, jakie niesie rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych.

Niniejsza publikacja nie zamyka dyskusji, lecz stanowi punkt wyjścia do dalszych refleksji i badań nad miejscem bezzałogowych platform powietrznych w nowoczesnym systemie bezpieczeństwa oraz gospodarce. Mamy nadzieję, że zawarte w niej treści przyczynią się do pogłębienia wiedzy, inspirowania nowych inicjatyw badawczych oraz kształtowania odpowiedzialnych i innowacyjnych praktyk wykorzystania technologii bezzałogowych.

**płk dr hab. Dariusz Bogusz, prof. LAW**
**mgr Julia Skóra**

# BEZZAŁOGOWE PLATFORMY

## W SŁUŻBACH MUNDUROWYCH I TRANSPORCIE

Istotnym walorem publikacji jest […] uwzględnienie problematyki wyzwań i ograniczeń związanych z wykorzystaniem BSP. Autorzy wskazują na bariery technologiczne, takie jak czas lotu, odporność na warunki atmosferyczne czy niezawodność łączności, a także na ograniczenia prawne wynikające z regulacji krajowych i międzynarodowych. […] W monografii znalazły się również teksty poświęcone przyszłości technologii bezzałogowych, w tym: integracji BSP z systemami sztucznej inteligencji, rozwojowi autonomii oraz koncepcjom miejskiej mobilności powietrznej. Publikacja wnosi istotny wkład do dyskusji nad rolą BSP w systemach bezpieczeństwa oraz nowoczesnym transporcie i może stanowić wartościowe źródło wiedzy dla środowiska naukowego, praktyków, decydentów oraz studentów kierunków związanych z bezpieczeństwem i lotnictwem.

Z recenzji prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Ciekanowskiego

Autorzy w swoich opracowaniach konsekwentnie i rzetelnie pokazują, że bezzałogowe statki powietrzne stają się narzędziem realnie wpływającym na sposób realizacji zadań publicznych, organizację działań służb oraz kształtowanie nowych form mobilności. Publikacja ma wyraźnie zaznaczony charakter poznawczy. Zebrane w niej teksty porządkują terminologię, przedstawiają aktualne kierunki rozwoju technologii bezzałogowych oraz wskazują obszary, w których BSP odgrywają coraz większą rolę. Dla czytelnika istotną wartością jest możliwość spojrzenia na zagadnienie z różnych perspektyw, od bezpieczeństwa i zarządzania kryzysowego, przez kwestie organizacyjne i prawne, aż po społeczne uwarunkowania wdrażania nowych rozwiązań transportowych.

Z recenzji prof. dr. hab. inż. Leszka Elaka

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Doskonała Nauka II

Realizacja projektu w ramach programu „Doskonała Nauka II" pt.: Konferencja „Bezzałogowe Platformy w Służbach Mundurowych i Transporcie", nr umowy KONF/SP/0173/2024/02 z dnia 9.12.2024 r.

LAW wydawnictwo

ISBN 978-83-68629-10-1